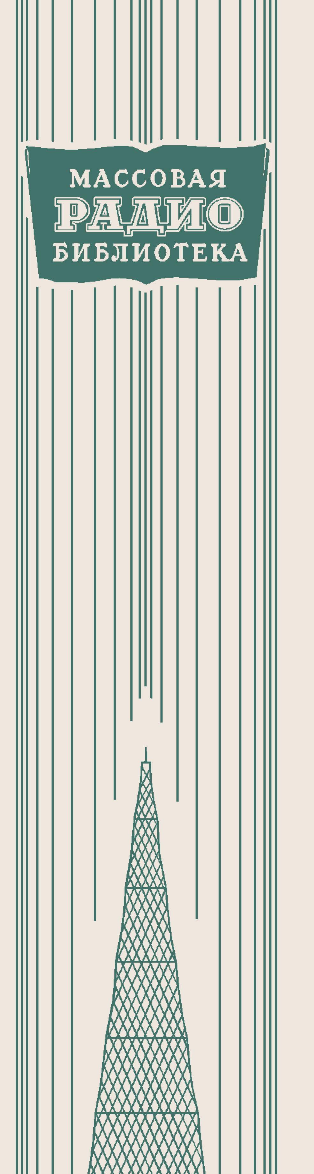
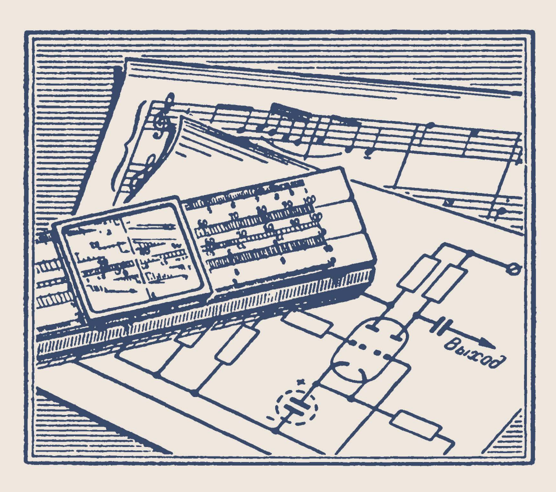


В. К. СОЛОМИН

КОНСТРУИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМУЗЫКАЛЬНЫХ ИНСТРУМЕНТОВ





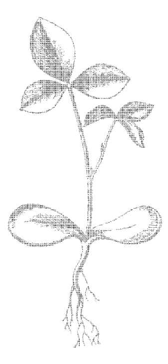
ГОСЭНЕРГОИЗДАТ

МАССОВАЯ РАДИОБИБЛИОТЕКА

Выпуск 310

В. К. СОЛОМИН

КОНСТРУИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМУЗЫКАЛЬНЫХ ИНСТРУМЕНТОВ





ГОСУДАРСТВЕННОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО

МОСКВА 1958 ЛЕНИНГРАД

В брошюре разбираются основные элементы схем электромузыкальных инструментов, приводятся различные варианты и данные этих схем, а также ряд практических советов по самостоятельному изготовлению некоторых деталей, сборке и наладке инструментов. В заключение приводится достаточно подробное описание любительского электромузыкального инструмента „Электротон-2", экспоната 13-й Всесоюзной радиовыставки, построенного и с успехом используемого автором в течение ряда лет.

Брошюра рассчитана на подготовленного радиолюбителя.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение 3
Генераторы тона 5
Делители частоты 16
Управление тембрами 22
Управление возникновением и затуханием звука . . 26
Вибрато и тремоло 30
Усиление и регулировка громкости 35
Клавиатура и гриф 41
Варианты построения схем электромузыкальных инструментов 46
Одноголосный клавишный инструмент „Электротон-2" 52

Соломин Виктор Кириллович

Конструирование электромузыкальных инструментов

Редактор *В. С. Хахалин* Техн. редактор *К. П. Воронин*

Сдано в набор 18/VI 1958 г. Подписано к печати 15/XI 1958 г.
Т-11521. Бумага 84×108¹/₃₂ 3,3 печ. л. Уч.-изд. л. 3,7.
Тираж 30 000 экз. Цена 1 р. 50 к. Заказ 1307

Типография Госэнергоиздата. Москва, Шлюзовая наб., д. 10.

ВВЕДЕНИЕ

В 1921 г. ленинградский инженер Л. С. Термен впервые демонстрировал оригинальный музыкальный инструмент «терменвокс», игра на котором производилась движениями руки в воздухе около небольшой выступающей из инструмента антенны.

За одну треть века электрические музыкальные инструменты прошли большой путь усовершенствования и по своим техническим возможностям и художественности звучания становятся серьезными соперниками обычных музыкальных инструментов. Перед радиолюбителями-экспериментаторами открылось новое широкое поле деятельности — электромузыка, одна из увлекательнейших областей радиоэлектроники.

Современные электромузыкальные инструменты можно разделить на две основные категории: одноголосные и многоголосные.

Подобно духовым оркестровым инструментам одноголосные электромузыкальные инструменты служат для воспроизведения одной только мелодии. Простейшим из них может быть обычный звуковой генератор, у которого на шкале нанесены фиксированные частоты, соответствующие полутонам темперированного строя [1], а выходное напряжение через кнопку подведено к громкоговорителю. Нажимая кнопку для получения звука и перестраивая в паузах генератор, можно исполнять несложные мелодии.

Однако звук такого примитивного инструмента, во-первых, лишен тембровой окраски и, во-вторых, при нажатии и отпускании кнопки возникает и исчезает мгновенно, сопровождаясь щелчками, что, конечно, неприятно для слуха. Чтобы звуки электромузыкального инструмента приобрели ряд качеств, делающих их пригодными для музыки, необходимо ввести в его схему ряд дополнительных элементов.

---

[1] Темперированный строй — общепринятая музыкальная система, в которой октава делится на 12 полутонов. В строгом соответствии с этим, например, находится настройка клавишных инструментов.

Блок-схема типичного одноголосного электромузыкального инструмента приведена на рис. 1. Релаксационные колебания от генератора тона, частота которых изменяется при помощи клавиатуры или грифа, поступают на ламповый каскад—манипулятор, служащий для получения плавного нарастания и плавного спадания звука без щелчков, неизбежных при простом замыкании и разрыве электрических цепей звуковоспроизводящего устройства. С манипулятора колебания поступают на формантные цепи, состоящие из индуктивностей, емкостей и сопротивлений, благодаря которым звук приобретает определенный тембр. Ряд переключателей на панели управления дает возможность исполнителю изменять характер тембра. После формантных цепей через обычный усилитель низкой частоты колебания поступают на громкоговоритель.

Сила звука инструмента изменяется обычно при помощи педального регулятора громкости. По желанию исполнителя к генератору тона может подключаться вспомога-

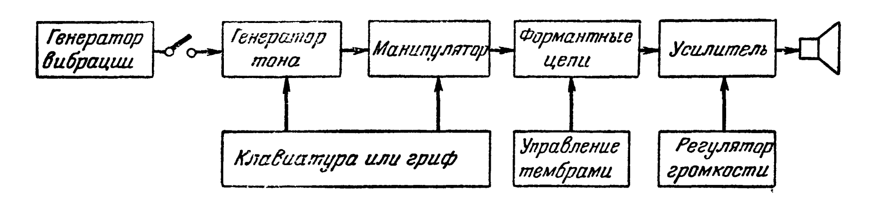


Рис. 1. Блок-схема типичного одноголосного инструмента.

тельный генератор с частотой колебаний 5—7 *гц*, который в небольших пределах меняет частоту генератора тона и тем самым создает красивый вибрирующий тон (вибрато). С целью понижения звука на октаву или несколько октав в одноголосных инструментах иногда используют ламповые делители частоты, в последние годы широко применяющиеся в качестве обязательных элементов счетно-решающих устройств (пересчетные схемы).

Многоголосные электромузыкальные инструменты позволяют воспроизводить сразу несколько тонов (в зависимости от количества одновременно нажатых клавишей) и, следовательно, не только вести мелодию, но и сопровождать ее аккомпаниментом, а также играть аккордами. Инструменты такого рода состоят из тех же элементов, что и одноголосные, но отличаются увеличенным количеством этих элементов. Например, если в одноголосном инструмен-

те применяется только один генератор тона, то в многоголосном число таких генераторов может доходить до 150 и более, причем каждый независимо от других работает только на одной фиксированной частоте.

Значительно большее богатство звуков многоголосных инструментов приводит к тому, что манипуляторы в них применяются не всегда, что связано с некоторой маскировкой щелчков теми музыкальными звуками, которые их перекрывают. Это относится, впрочем, главным образом к устаревшим моделям зарубежных электроорганов.

В зависимости от способа игры электромузыкальные инструменты делятся на грифовые и клавишные. В грифовых инструментах высота тона меняется плавно, как у скрипки или тромбона, а в клавишных — скачками, как у фортепиано или баяна. Грифовые инструменты выполняются главным образом одноголосными, так как многоголосный грифовый инструмент не может быть простым по конструкции и требует специальных навыков игры на нем. Несмотря на то, что в домашних условиях изготовить хорошую клавиатуру значительно сложнее, чем гриф, клавишные инструменты более распространены среди любителей, по-видимому, вследствие большей простоты игры на них.

Одноголосные электромузыкальные инструменты позволяют простыми средствами в широких пределах управлять тембрами звучания, что в многоголосных инструментах сопряжено с необходимостью значительно усложнять конструкцию. Это является существенным достоинством одноголосных инструментов, если иметь в виду самостоятельное их изготовление.

ГЕНЕРАТОРЫ ТОНА

Генератор тона, как и задающий генератор в передатчике с независимым возбуждением, является начальной ступенью любого электромузыкального инструмента. Генераторы тона в большинстве случаев работают на электронных или газоразрядных лампах. В многоголосных электромузыкальных инструментах иногда применяются электромеханические, электростатические и камертонные генераторы тона, однако устройство их настолько сложно, что они не могут быть рекомендованы для изготовления радиолюбителям.

Двумя основными условиями, определяющими качество лампового генератора тона в электромузыкальных инструментах, являются форма и стабильность частоты его коле-

баний. Форма колебаний в электромузыкальных инструментах определяет их тембровые возможности, а стабильность частоты — постоянство строя.

С целью создания различных тембров звука выгоднее использовать электрические колебания несинусоидальной формы (пилообразной, прямоугольной и пр), так как они содержат большое число гармоник. Для получения таких колебаний применяются генераторы релаксационного типа, как, например, мультивибратор или тиратронный генератор. Однако все релаксационные генераторы не обладают должным постоянством частоты создаваемых ими колебаний, и это противоречит второму условию.

Более стабильными по частоте являются генераторы колебаний синусоидальных, но такая форма колебаний неприемлема при формантном методе создания тембров.

Выполнить оба условия одновременно можно двумя путями: или жесткой стабилизацией питающих напряжений релаксационного генератора или посредством преобразования генерируемых синусоидальных колебаний в несинусоидальные. Это может быть сделано, например, методом синхронизации частоты либо применением однополупериодного выпрямления с последующим намеренным искажением формы полуволны.

Для генераторов тона часто используются двойные триоды 6Н8С, 6Н9С, 6Н1П, 6Н2П и 6Н15П. В одноголосном инструменте на одной из указанных ламп может быть собран мультивибратор, а в многоголосном — сразу два *LC*-генератора.

На рис. 2 приведена распространенная схема *LC*-генератора с автотрансформаторной обратной связью. Катушка контура *L* имеет отвод от $^1/_3$ ее обмотки и может быть выполнена с перемещающимся стальным или ферритовым сердечником. Частота колебаний генератора предварительно устанавливается подбором емкости конденсатора C_1. Если катушка не имеет перемещающегося сердечника, то плавную подстройку генератора можно производить изменением величины сопротивления R_1, которое для этой цели берется переменным.

Такие генераторы тона создают напряжения синусоидальной формы и используются главным образом в многоголосных инструментах — электроорганах. С целью дальнейшего преобразования тембра выходное напряжение генератора выпрямляется диодом *Д*. Включение генератора производится замыканием контакта *К*, механически связан-

ного с клавишей. Для устранения щелчков в схему вводятся конденсаторы C_2, C_3 и сопротивление R_2, увеличивающие постоянную времени анодной цепи. Выходное напряжение каждого генератора регулируется подбором величины сопротивления R_3.

Генераторы типа *LC* требуют больших индуктивностей, что увеличивает их стоимость. В этом отношении более экономичны генераторы типа *RC*.

На рис. 3 приведена схема распространенного *RC*-генератора с лампой 6Н9С. Фазовый сдвиг между анодной и сеточной цепями, необходимый для самовозбуждения генератора, осуществляется здесь с помощью четырехполюсника обратной связи, состоящего из конденсаторов *C* и сопротивлений *R*, образующих три однотипных звена.

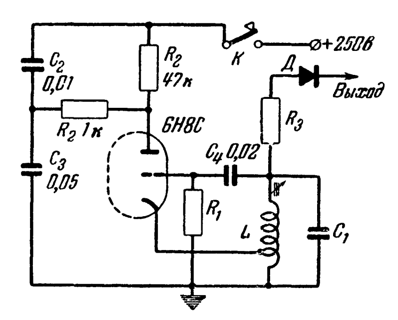


Рис. 2. Схема *LC*-генератора с синусоидальной формой напряжения.

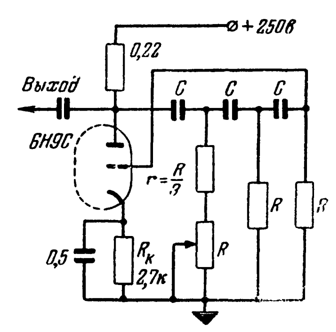


Рис. 3. Схема обычного *RC*-генератора.

Если затухание в четырехполюснике велико или коэффициент усиления лампы недостаточен, то колебания могут и не возникнуть. Для уменьшения затухания количество *RC*-звеньев может быть увеличено до четырех. Лампа должна иметь коэффициент усиления не менее 35, поэтому, например, лампа 6Н8С ($\mu=20$) для такого *RC*-генератора не пригодна. Лампу 6Н1П можно применять только в *RC*-генераторе с четырьмя звеньями из *R* и *C* в фазоперевертывающем четырехполюснике.

Величина *C* для четырехполюсника, исходя из заданных *R* и *f*, находится ориентировочно по следующей эмпирической формуле:

$$C = \frac{1}{Rf \cdot 10{,}86},$$

где *R* — выражено в мегомах; *f* — в герцах и *C* — в микрофарадах.

Плавное изменение частоты такого генератора требует одновременного изменения величин всех емкостей или сопротивлений четырехполюсника, что трудно осуществлять, поэтому использование его для грифового инструмента практически невозможно При конструировании подобных генераторов для многоголосного инструмента одно из сопротивлений четырехполюсника делают переменным и последовательно с ним ставят постоянное сопротивление. Это дает возможность несколько изменять частоту генератора тона в ту или другую сторону от заданной частоты, что необходимо делать при настройке электромузыкального инструмента в целом.

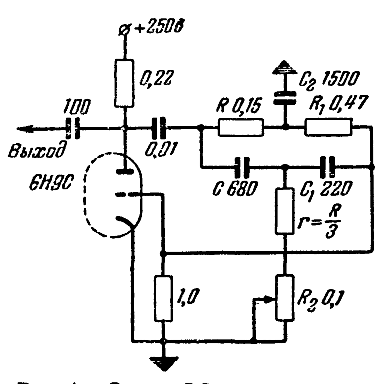


Рис. 4. Схема RC-генератора с двойным Т-образным мостом.

Рассмотренная схема RC-генератора стабильна в работе, частота в ней практически не зависит от изменений питающих напряжений и поэтому специальной стабилизации анодного напряжения не требуется.

Хорошо зарекомендовала себя также схема RC-генератора, приводимая на рис. 4. Здесь в цепи обратной связи усилителя применен двойной T-образный мост, который создает условия самовозбуждения только для одной частоты. Эта схема при правильном подборе номиналов деталей обладает исключительной стабильностью действия. При изменении накального и анодного напряжений на 30% высота тона практически совсем не меняется, так как отклонения частоты не превосходят 0,1%.

Расчет элементов моста целесообразно производить в таком порядке. Вначале находят произведение величин R и C в зависимости от заданной частоты по формуле

$$RC = \frac{1}{2\pi f}.$$

По величине этого произведения подбирают отдельно величины для R и C, сообразуясь с теми номиналами, которые имеются в распоряжении радиолюбителя.

Величины остальных элементов моста определяют из следующих соотношений:

$$R_1=3R;\ C_1=\frac{C}{3};\ R_2=\frac{R}{2};\ C_2=2C.$$

Полученные расчетные данные округляются до имеющихся в наличии номиналов сопротивлений и конденсаторов. При этом нужно придерживаться следующего правила: если, например, емкость одного из плеч моста берется несколько больше расчетной, то величину сопротивления этого же плеча желательно брать несколько меньшей, приближаясь, таким образом, к заданному произведению RC. Сопротивление R_2, как и в предыдущей схеме, берется переменным.

Оба рассмотренных генератора типа RC вырабатывают напряжение синусоидальной формы. При плавном изменении величины переменного сопротивления нагруженный RC-генератор возбуждается в диапазоне частот, чуть превышающем одну октаву. Генератор тона с данными, приведенными на рис. 4, перекрывает диапазон от 1 100 до 2 400 *гц*. Если после RC-генератора ввести катодный повторитель, то благодаря уменьшению нагрузки на генератор частотный диапазон его расширится более, чем в 2 раза. Для использования всего диапазона RC-генераторов величину переменного сопротивления (R для рис. 3 и R_2 для рис. 4) следует брать в 2 раза более расчетной.

Наиболее распространенным типом лампового генератора для одноголосных инструментов нужно считать несимметричный мультивибратор. Широкий диапазон частот, богатая гармониками форма напряжения и простота изготовления такого генератора всегда привлекали к нему внимание конструкторов электромузыкальных инструментов.

Мультивибратор является типичным примером релаксационного генератора и представляет собой двухкаскадный усилитель на сопротивлениях, в котором выходное напряжение второго каскада подается на вход первого. При таком включении смысл названий «первого» и «второго» каскада теряется, и обе половины схемы называются «плечами» мультивибратора. Если схемы обоих плеч и их составные элементы одинаковы, то мультивибратор считают симметричным, а в противном случае — несимметричным.

Симметричные мультивибраторы в электромузыкальных инструментах обычно используются для деления частоты, а несимметричные—для генераторов тона. На рис. 5 и 6 приведены две схемы таких генераторов. Оба генератора

вырабатывают напряжение, близкое по форме к прямоугольному и могут быть рекомендованы для клавишных одноголосных инструментов. Анодное напряжение для этих генераторов должно быть стабилизировано.

Для генератора по схеме рис. 5 можно применить трехоктавную клавиатуру. При нажатии клавиши замыкается один из контактов K_1—K_{36}. Частота колебаний при этом будет определяться общей величиной сопротивления цепи между сеткой левого триода и шасси генератора, составленной из сопротивления R_n и соответствующих сопротивлений R_1—R_{36}. При нормальном положении клавишей (т. е. когда все контакты разомкнуты) на сетку левого триода поступает отрицательное смещение, которое не дает воз-

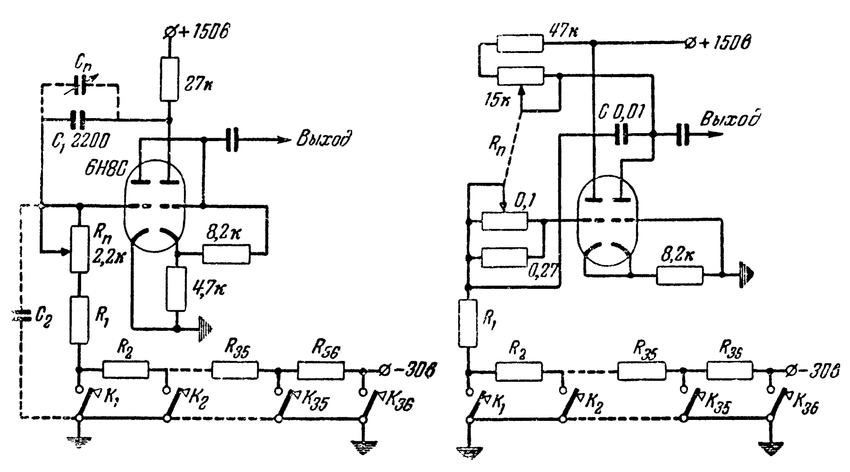


Рис. 5. Схема генератора тона с прямоугольной формой напряжения.

Рис. 6. Другая схема генератора с прямоугольной формой напряжения.

можности мультивибратору нормально возбудиться за счет сопротивления утечки между цепью сетки левого триода и общим минусом. Возбуждение генератора тона в этом случае все же имеет место, но происходит на очень низких частотах (порядка единиц и долей герца), что характеризуется качаниями стрелки вольтметра, присоединенного к аноду или катоду правого триода.

Для перекрытия диапазона второй, третьей и четвертой октав (523—3 950 *гц*) при $C_1 = 2\,200$ *пф* сопротивление частотозадающей цепи должно меняться примерно от 13 до 250 *ком*. Диапазон генератора может быть сдвинут на одну или две октавы в сторону понижения тона с сохранением

полутоновых интервалов. Для этого нужно увеличить емкость конденсатора C_1 и подключить параллельно частотозадающей цепи конденсатор C_2. В табл. 1 приведены частотные диапазоны этого генератора в зависимости от емкости подключаемых конденсаторов C_1 и C_2.

Таблица 1

Название регистра	Название октав	C_1, *пф*	C_2, *пф*
Верхний	Вторая, третья, четвертая	2 200	—
Средний	Первая, вторая, третья	4 400	270
Нижний	Малая, первая, вторая	8 800	1 000

Более точно обе емкости подбираются опытным путем. Для удобства подстройки целесообразно применить два переменных конденсатора C_n 300 и 600 *пф*, подключаемых параллельно C_1 в среднем и нижнем регистрах. Сопротивление R_n служит для подстройки генератора тона под аккомпанирующий инструмент в пределах одного полутона.

В схеме генератора тона, представленной на рис. 6, для перекрытия первой, второй и третьей октав (260—2 000 *гц*) сопротивление частотозадающей цепи должно меняться примерно от 10 до 72 *ком*. Сдвоенное сопротивление R_n позволяет перестраивать генератор в пределах трех полутонов, не нарушая строя инструмента. При движениях ползунков этих сопротивлений изменения их величин должны происходить в разные стороны, т. е. когда одно возрастает, другое уменьшается (и наоборот). Это нужно предусмотреть при подпайке монтажных проводов к их выводам.

Работу сдвоенного сопротивления R_n можно объяснить следующим образом. Если подстройку генератора тона вести одним переменным сопротивлением, включенным в анодную или сеточную цепь лампы генератора, то интервал перестройки по диапазону инструмента не сохраняется; на конце диапазона, где частота выше, интервал получается большим. Действия обеих половин сопротивления R_n противоположны друг другу. Если одна половина уменьшает интервал перестройки, то другая—увеличивает. При правильном подборе отношения величин этих сопротивлений интервалы перестройки на обоих концах диапазона становятся одинаковыми. Для данной схемы генератора переменное сопротивление, находящееся в сеточной цепи, должно быть в 5,5 раза больше переменного сопротивления анодной цепи. При таком условии интервал перестройки инструмента достигает четырех полутонов. Из-за отсут-

ствия номинала переменного сопротивления, равного 82 *ком*, приходится брать сопротивление 100 *ком* и шунтировать его постоянным сопротивлением 270 *ком*.

Для понижения всего частотного диапазона генератора на одну октаву нужно увеличить емкость C в 2 раза. Так, для получения диапазона, охватывающего малую, первую и вторую октавы, конденсатор C должен иметь емкость 0,02, а для перекрытия большой, малой и первой октав — 0,04 *мкф*.

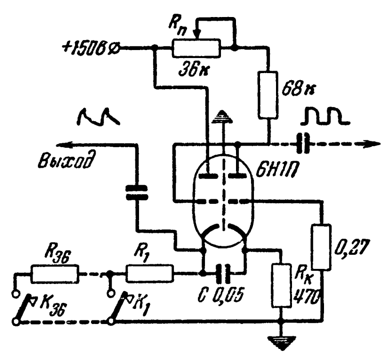


Рис. 7. Схема генератора тона с пилообразной формой напряжения.

На рис. 7 приведена еще одна схема мультивибратора. Генератор тона, построенный по этой схеме, отличается от двух предыдущих генераторов следующими достоинствами: 1) для него не требуется отрицательного смещения для запирания; 2) форма выходного напряжения генератора пилообразна (такая форма для электромузыкальных инструментов наиболее желательна); 3) при октавном понижении тона строй инструмента с этим генератором остаеся совершенно ненарушенным.

Генератор по схеме рис. 7 работает следующим образом. В начале периода, когда конденсатор C разряжен, анодный ток левого (по схеме) триода начинает его заряжать. Зарядный ток проходит через сопротивление $R_к$. Увеличение падения напряжения на этом сопротивлении уменьшает анодный ток правого триода, отчего напряжение на его аноде увеличивается. Это в свою очередь увеличивает положительный потенциал сетки левого триода и его анодный ток. Лавинообразный процесс нарастания анодного тока левого триода настолько увеличивает падение напряжения на сопротивлении $R_к$, что правый триод запирается.

Дальнейшее повышение потенциала на конденсаторе C будет сопровождаться уменьшением анодного тока левого триода, что приводит к уменьшению потенциала на катоде правого. Когда падение напряжения на сопротивлении $R_к$ станет недостаточным для поддержания правого трио-

да в запертом состоянии, этот триод откроется, а левый запрется. Возрастание заряда конденсатора C при этом прекращается, и он начинает медленно разряжаться через сопротивление участка цепи R_1—R_{36}. При разряде конденсатора C напряжение на катоде левого триода будет уменьшаться, что приведет к отпиранию левого триода. Конденсатор C тогда начнет заряжаться и весь процесс повторится.

Частоту колебаний генератора определяет величина сопротивления цепи между катодом левого триода и общим минусом. Нужно помнить, что уменьшение этого сопротивления сопровождается увеличением анодного тока левого триода. При данных, указанных на рис. 7, и сопротивлении $R_1 = 5$ *ком* анодный ток левого триода лампы 6Н1П достигается 9 *ма*, поэтому брать R_1 менее указанной величины не следует. При изменении величины частотозадающей цепи от 6 до 60 *ком* перекрывается диапазон первой, второй и третьей октав (260—2 000 *гц*). Для понижения диапазона генератора на одну октаву емкость конденсатора C должна быть увеличена точно в 2 раза. Для подстройки генератора в пределах одного тона служит переменное сопротивление $R_п$. Лампу 6Н1П можно заменить лампой 6Н8С.

Для генераторов тона с пилообразной формой напряжения можно применить газонаполненные лампы. В простейшем звуковом генераторе на неоновой лампе частоту колебаний можно изменять в очень больших пределах при помощи только одного переменного сопротивления. Однако такой генератор обладает крупным недостатком: частота его колебаний очень неустойчива и зависит от малейших изменений нагрузки, температуры окружающего воздуха и даже от попадания на неоновую лампу постороннего света (фотоэффект).

Схема более совершенного генератора тона с газонаполненной лампой (тиратроном типа ТГ1-0,1/0,3) приведена на рис. 8. Такие генераторы имеют значительно меньшее внутреннее сопротивление по сравнению с генераторами на неоновых лампах и часто применяются в схемах разверток в осциллографах.

Рассмотрим работу этого генератора. В момент включения анодного напряжения конденсатор C_1, шунтирующий тиратрон, начинает заряжаться, а анодное напряжение на тиратроне — увеличиваться. Когда напряжение на аноде тиратрона достигнет значения потенциала его зажигания,

конденсатор быстро разрядится через тиратрон до напряжения, при котором тиратрон погаснет. Затем цикл повторяется.

Период колебаний тиратронного генератора определяется временем заряда и разряда конденсатора C_1, поэтому изменение высоты тона может производиться изменением емкости этого конденсатора. Однако это возможно только в клавишных инструментах, где с нажатием клавиши подключается конденсатор постоянной емкости. Плавного же изменения частоты в больших пределах таким путем получить нельзя.

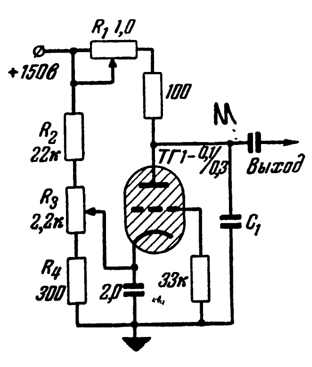


Рис. 8. Схема генератора тона на тиратроне.

Изменять частоту колебаний можно еще при помощи сопротивления R_1 или R_3. Для грифового инструмента сопротивление R_3 может быть выполнено проволочным. В этом случае величина его может быть уменьшена до 1—1,5 *ком* при условии сохранения соотношения между R_2, R_3 и R_4. При изменении напряжения на катоде тиратрона от 2 до 7 *в* частота генератора меняется в пределах трех октав. Изменением сопротивления R_1 можно перекрыть тоже три октавы. Анодное напряжение для тиратронного генератора должно быть стабилизировано, иначе звук будет заметно «плавать».

Налаживание всех генераторов тона начинается с подгонки частотозадающих элементов (сопротивлений, конденсаторов, катушек) на заданные частоты темперированной шкалы тонов. В грифовом инструменте эта работа сводится к определению максимальной величины проволочного сопротивления по крайней (обычно нижней) частоте диапазона. В клавишных многоголосных и одноголосных инструментах, работающих на принципе синхронизации частоты, для подстройки генераторов тона проще всего использовать переменные сопротивления типа СПО или СП, которых потребуется 12 шт.

В тех одноголосных инструментах, где не применяется синхронизация или деление частоты, число частотозадающих элементов определяется количеством клавишей в клавиатуре. Здесь в качестве этих элементов чаще всего применяются последовательно соединяемые сопротивления. Величина каждого отдельного сопротивления подбирается в

работающем генераторе тона опытным путем. Для этого в генераторе вместо частотозадающей цепочки временно устанавливается переменное сопротивление, с помощью которого он настраивается на заданную частоту темперированной шкалы. Затем генератор выключают, определяют по омметру установленную величину переменного сопротивления и переходят к настройке генератора на следующую фиксированную частоту.

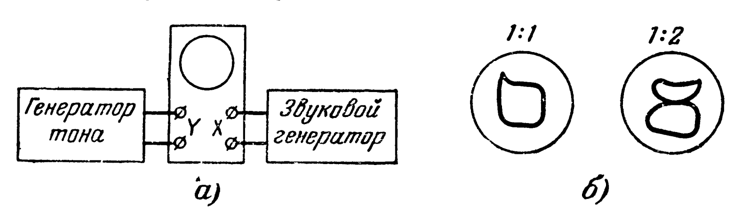


Рис. 9. Способ налаживания генераторов тона.
а — схема соединения с осциллографом; *б* — фигуры Лиссажу.

В качестве источника фиксированных частот может служить хорошо настроенное фортепиано или другой музыкальный инструмент, а также хороший звуковой генератор, погрешность градуировки шкалы которого не превышает ±0,5%. Перед тем как приступить к налаживанию генератора тона, подстроечное сопротивление $R_п$ устанавливается в среднее положение, а сам генератор нагружается следующим за ним каскадом.

После того как частотозадающие элементы генератора тона будут подобраны и установлены в схеме, переходят к отработке октавного понижения диапазона. В схеме генератора тона, приведенной на рис. 5, эта процедура заключается в подгонке емкости конденсаторов C_1 и C_2 для среднего и нижнего регистра в отдельности. Подгонка это вначале производится на середине диапазона среднего регистра с проверкой по концам этого диапазона. Затем производятся подгонка конденсаторов C_1 и C_2 для нижнего регистра и проверка качества подгонки на концах диапазона нижнего регистра.

Подгонку удобнее вести с помощью осциллографа и звукового генератора. Оба генератора соединяются с осциллографом согласно рис. 9,*а*. Частота звукового генератора должна соответствовать середине диапазона верхнего регистра. Затем переменное частотозадающее сопротивление в генераторе тона регулируется до появления на экране осциллографа медленно вращающейся, а временами даже

неподвижной фигуры Лиссажу, характерной для отношения частот 1 : 1 (рис. 9,*б* слева). При сложении синусоидальных колебаний такая фигура имеет форму эллипса, или окружности, но в данном случае фигура будет иметь резкие изломы, так как генератор тона вырабатывает релаксационные колебания.

После того как оба генератора будут настроены в резонанс, емкость C_1 увеличивают в 2 раза и добавляют конденсатор C_2 (см. строку среднего регистра в табл. 1). При отношении частот генератора тона и звукового генератора, равном 1 : 2, на экране должна появиться фигура искаженной восьмерки (рис. 9,*б* справа). Это достигается подбором емкости конденсатора C_2.

Проверка октавных интервалов между верхним и средним регистрами на концах этих диапазонов производится точно таким же образом, за исключением того, что звуковой генератор настраивается не на середину, а на концы диапазона верхнего регистра. Ошибка по частоте на концах диапазона каждого регистра не должна превышать 1%. Уменьшение этой ошибки производится более точной подгонкой конденсаторов C_1 и C_2. После того как будут подобраны емкости конденсаторов C_1 и C_2 для среднего, переходят к подгонке их для нижнего регистра.

Описанный метод применим для отработки октавного понижения диапазона и в других схемах генераторов тона, а также для проверки работы делителей частоты.

ДЕЛИТЕЛИ ЧАСТОТЫ

Делитель частоты представляет собой электронное устройство, преобразующее подводимые к нему электрические колебания таким образом, что на выходе получаются колебания вдвое, втрое и в иное целое число раз пониженной частоты. В электромузыкальных инструментах обычно применяется деление частоты пополам, причем такое действие делителя приводит к понижению музыкального тона на одну октаву.

Перестройка либо подстройка электромузыкальных инструментов перед игрой значительно упрощаются, если для переходов к более низким октавам применены делители частоты. Выходное напряжение делителей содержит кроме основного тона ряд собственных гармоник, благодаря которым создаются дополнительные возможности управления тембрами. Таким образом, делители преобразуют подводимые колебания не только по частоте, но и по форме.

Деление частоты основано на способности релаксационных генераторов синхронизироваться с приходящими электрическими колебаниями, когда частоты их близки к основной частоте генератора или находятся в кратном отношении с ней. Если на сетку тиратронного генератора, схема которого была приведена на рис. 8, в тот момент, когда напряжение на конденсаторе C_1 будет близким к потенциалу зажигания тиратрона, поступит отрицательный импульс, то напряжение на аноде тиратрона скачком возрастет и тиратрон вспыхнет. Таким образом, когда частота следования входных импульсов будет немного больше собственной частоты колебаний тиратронного генератора, период колебаний этого генератора сократится, и он синхронизируется с приходящими импульсами.

Используя в качестве источника синхронизирующего напряжения генератор синусоидальных колебаний, можно весьма существенно повысить стабильность частоты колебаний большинства релаксационных генераторов. Если частота синусоидальных колебаний, поступающих на вход релаксационного генератора, будет примерно в 2 раза выше его собственной частоты, то синхронизация также наступит, но при этом частота релаксационных колебаний на выходе будет в 2 раза ниже частоты колебаний источника синхронизации.

Для синхронизации делителей частоты могут быть использованы генераторы тона с любой формой колебаний, а не только синусоидальной. Деление частоты осуществляют и с помощью электронно-ламповых схем, схем на тиратронах с холодным катодом, а также с использованием транзисторов.

В многоголосных инструментах, где число делителей частоты может быть велико, тиратроны и радиолампы целесообразно заменять более дешевыми и экономичными по питанию неоновыми лампами типа МН-6, которые легко приспособить в качестве заменителей тиратронов с холодным катодом, если к ним добавить внешний «поджигающий» электрод, соответствующий сетке тиратрона.

Нужно заметить, что новые неоновые лампы работают в делителях частоты неустойчиво, и поэтому их предварительно нужно тренировать. Процедура эта заключается в том, что лампу включают на 2—3 *сек* через сопротивление 500—600 *ом* в сеть переменного тока 127 *в*. Схема для тренировки неоновых ламп приведена на рис. 10,*а*. Осциллограф здесь служит для контроля качества тренированных ламп. Лампы считаются пригодными, если каждая полу-

волна на экране осциллографа имеет ровно срезанную верхушку без размытостей (рис. 10,*б*), а сама лампа горит ровным светом. Если этого не наблюдается, то тренировку нужно повторить.

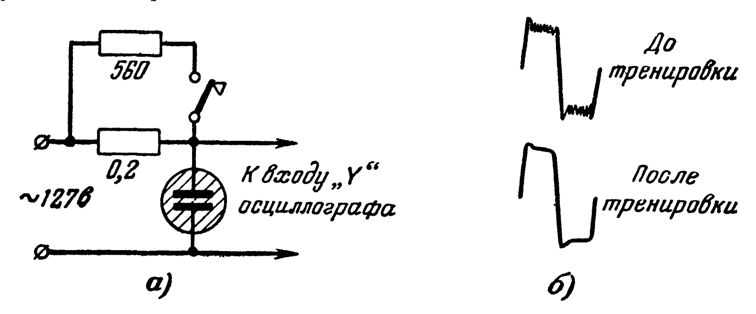


Рис. 10. Способ тренировки неоновых ламп, применяемых в качестве самодельных „тиратронов с холодным катодом".
а — схема соединения с осциллографом; *б* — осциллограммы.

Для использования неоновой лампы в делителе частоты на ее баллон наматывают несколько витков проволоки или наклеивают станиолевый поясок. Полученный таким образом третий электрод соединяют с генератором тона или предыдущим делителем частоты.

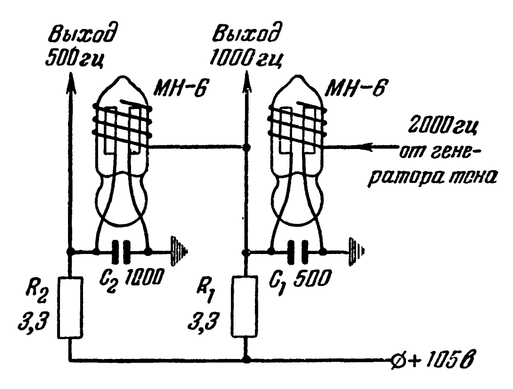


Рис. 11. Схема делителей частоты на неоновых лампах.

На рис. 11 приведена схема двухкаскадной цепочки деления частоты на двух неоновых лампах типа МН-6. Собственная частота каждого из этих делителей должна быть примерно на 10% ниже той частоты, которую намеревают-

ся от него получить. Амплитуда колебаний, подводимых от генератора тона, должна быть не менее 20 *в*.

Налаживание таких делителей лучше всего производить с помощью осциллографа и звукового генератора. Напряжение с выхода одного из делителей частоты подается на вход *Y* осциллографа, а от звукового генератора на вход *X*. Собственная частота каждого из делителей определяется по фигуре Лиссажу для отношения частот 1 : 1 и подстраивается путем подгонки одной из емкостей (C_1 или C_2). При настройке любого из делителей на собственную частоту нужно выключать генератор тона (или другой источник синхронизации), а также отсоединять от другого делителя напряжение +105 *в*.

После того как делители частоты будут настроены, на них подаются напряжения питания и синхронизации и определяется диапазон частот, в котором происходит нормальное деление. Для схемы, изображенной на рис. 11, этот диапазон составляет примерно четыре полутона, что позволяет перестраивать генератор тона в пределах не более чем ±2 полутона. При увеличении количества каскадов в цепочке деления частоты возможный диапазон перестройки генератора сокращается еще более. Такие делители частоты могут применяться только в многоголосных инструментах.

Напряжение питания неоновых ламп стабилизируют с помощью стабилитрона типа СГ3С. На частотах ниже 150 *гц* неоновые лампы синхронизируются хуже, и для облегчения синхронизации их полезно освещать снаружи. Для этого можно использовать лампочки подсвета шкалы приемника, располагая их на расстоянии 2—3 *см* от неоновых ламп.

Замены лампы МН-6 лампами типа МН-5 или МН-3 значительно ухудшает результат. В этих случаях, даже при тщательной настройке делителей, диапазон их устойчивой работы не превышает одного полутона. Лучше всего работают делители частоты на тиратронах с холодным катодом типа МТХ-90.

Наиболее распространенным типом делителя частоты является симметричный мультивибратор, который легко синхронизируется и надежно работает в режиме деления частоты.

Как известно, работа мультивибратора характеризуется скачкообразным переходом из одного устойчивого состояния в другое. В симметричном мультивибраторе такие переходы совершаются через равномерные промежутки време-

ни, 2 раза за один период. В моменты времени, предшествующие этим скачкообразным переходам, когда режим мультивибратора становится неустойчивым, внешние синхронизирующие импульсы определенной полярности ускоряют опрокидывание схемы мультивибратора. Деление частоты пополам происходит в том случае, когда период собственных колебаний мультивибратора примерно в 2 раза больше периода импульсов синхронизации.

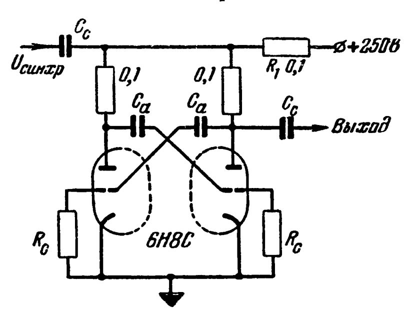


Рис. 12. Схема делителя частоты на двух триодах.

Скачкообразные переходы мультивибратора из этого устойчивого состояния в другое сопровождаются резкими изменениями токов и напряжений, благодаря чему форма выходного напряжения становится почти прямоугольной. Мультивибратор, схема которого приведена на рис. 12, вырабатывает колебания симметрично-прямоугольной формы. Такие колебания характерны отсутствием четных гармоник, что свойственно некоторым оркестровым инструментам, как например, кларнету. Напряжение синхронизации (от генератора тона или предыдущего делителя частоты) подается в анодную цепь мультивибратора. Для большей устойчивости работы мультивибратора в режиме деления частоты необходимо, чтобы его собственная частота была на $1^1/_2$—2 тона ниже той частоты, которая должна получиться после деления. Если, например, делитель частоты рассчитывается на получение звука «ля» второй октавы, то его собственная частота колебаний должна быть порядка 700—740 *гц*.

Собственную частоту мультивибратора, схема которого приведена на рис. 12, можно грубо определить по следующей эмпирической формуле:

$$f = \frac{0,22}{R_c C_a}.$$

Практически от этой схемы удается получить диапазон устойчивого деления, несколько превышающий даже целую октаву.

Делители частоты по приведенной схеме применяются в многоголосных инструментах. Такие делители соединяют-

ся последовательно цепочкой и синхронизируются от отдельного генератора тона, который непрерывно работает на одной фиксированной частоте. Если выключить генератор тона и отсоединить конденсаторы C_c, связывающие между собой делители частоты, то каждый из мультивибраторов может возбудиться на собственной частоте. Интересно отметить, что такие делители частоты способны работать даже совсем без анодного напряжения. Если, на-

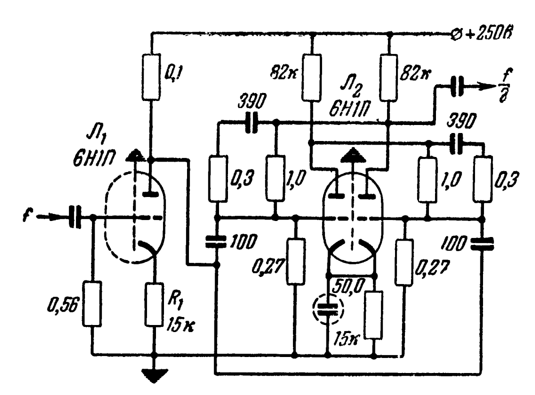


Рис. 13. Схема делителя частоты на трех триодах.

пример, разорвать цепь сопротивления R_1, то деление частоты продолжается, но выходное напряжение при этом сильно падает.

Диапазон деления частоты мультивибратором можно значительно расширить, если в целях развязки отделить его от источника синхронизирующих импульсов одним каскадом усиления. На рис. 13 приведена схема делителя частоты на трех триодах. Введение в схему делителя еще одного триода $Л_1$ дает возможность расширить диапазон деления до 3—4 октав при сравнительно малом напряжении синхронизации (15 *в*). Такие делители частоты могут применяться не только в одноголосных клавишных, но и в грифовых инструментах с целью октавного умножения звуков [1].

С данными, приведенными в схеме рис. 13, можно получать стабильное деление частоты в диапазоне от 1 500 до 15 000 *гц* (на выходе делителя от 750 до 7 500 *гц*). Величи-

[1] Октавное умножение — одновременное звучание двух или более одноименных звуков (например, звуков „ля“ в нескольких октавах).

ны сопротивлений и конденсаторов не являются критичными для работы делителя, за исключением сопротивлений в катодных цепях ламп. При отсутствии синхронизирующего напряжения мультивибратор не должен возбуждаться, что достигается подачей запирающего напряжения на катоды лампы $Л_2$ (по отношению к шасси) не менее 22 *в*. Если при плавном изменении частоты генератора тона делитель работает неустойчиво (перескакивает с одной частоты на другую), то необходимо поднять усиление входного каскада за счет уменьшения сопротивления R_1. Нормально на катоде лампы $Л_1$ должно быть напряжение +4 *в*. Выходное напряжение делителя снимается с одного из анодов лампы мультивибратора и может быть использовано не только для образования тонов, но и для синхронизации следующего каскада деления частоты.

УПРАВЛЕНИЕ ТЕМБРАМИ

Тембр (или окраска звука) — главный отличительный признак музыкального инструмента. По тембру мы свободно определяем название инструмента, даже не видя его. От чего же зависит тембр?

Почти все музыкальные тона являются результатом образования сложных звуковых колебаний, частотный состав и интенсивность которых разнообразны. Поэтому тембр инструмента будет зависеть в первую очередь от того, какие гармоники (обертоны) участвуют в создании звука и в каком соотношении друг с другом находятся величины их амплитуд. В звуках флейты, например, гармоник почти нет, вследствие чего форма создаваемых ею колебаний весьма близка к синусоиде. В создании тембра кларнета участвует около 11 гармоник, из которых особенно выделяются третья, пятая и седьмая.

Тембр музыкального инструмента зависит еще и от скоростей нарастания и затухания звука, а также от присутствия в звуке негармонических составляющих и шумов.

В электромузыкальных инструментах управление тембрами может производиться двумя принципиально различными способами. Первый способ заключается в смешивании основного синусоидального колебания с рядом других синусоидальных колебаний, находящихся в гармонических соотношениях с основным колебанием. Этот способ, называемый гармоническим синтезом тембров, применялся в старых сложных конструкциях электроорганов. Принцип

гармонического синтеза был использован также в терменвоксе.

Второй, более распространенный способ управления тембрами называется формантным. Формантой принято называть полосу частот, в которой выделяются и подчеркиваются некоторые гармоники обычного музыкального инструмента. Такое выделение гармоник происходит благодаря акустическому резонансу основы или корпуса инструмента. На рис. 14,*а* показаны форманты некоторых музыкальных инструментов и человеческого голоса. Характерно, что человеческий голос имеет две форманты, которые

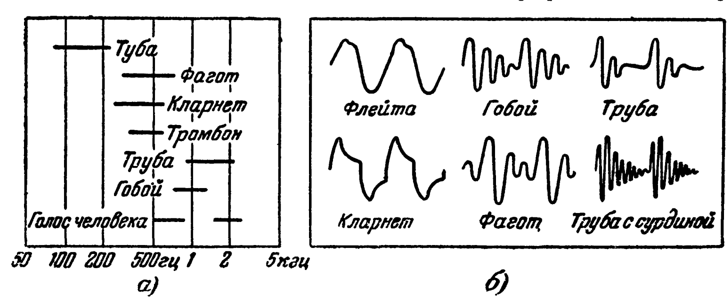


Рис. 14. Пояснение к формантным цепям.

а — форманты музыкальных инструментов и человеческого голоса; *б* — осциллограммы напряжений на выходе формантных цепей.

зависят не от высоты голоса, а от устройства полости рта, в общих чертах одинакового у всех людей независимо от их пола и возраста.

При втором способе формирование тембровых окрасок достигается применением в электромузыкальном инструменте формантных цепей, состоящих из *LC*-контуров и *RC*-фильтров. Так как расчет формантных цепей в радиолюбительских условиях почти невозможен, то отработка тембров производится чисто экспериментальным путем. Качество тембра определяется на слух в соответствии с собственными вкусом и музыкальными способностями экспериментатора.

При имитации звучания известных музыкальных инструментов нужно учитывать, что их тембр существенно зависит от громкости. Флейта, например, создает колебания синусоидальной формы только при исполнении «пиано» (тихо), при громком же исполнении синусоида искажается (начинают заметно выделяться вторая и четвертая гармоники). Форма колебаний, а следовательно и тембр звуча-

ния, меняется также и с изменениями высоты тона: в различных участках диапазона они могут быть разными.

Легче всего поддаются имитации тембры деревянных духовых инструментов, у которых состав гармоник для среднего участка их диапазонов достаточно постоянен. К таким инструментам относятся флейта, кларнет, гобой, фагот.

На рис. 14,*б* изображены осциллограммы звучания различных инструментов. Для создания тембра кларнета в электромузыкальных инструментах часто используется симметрично-прямоугольная форма напряжения с дальней-

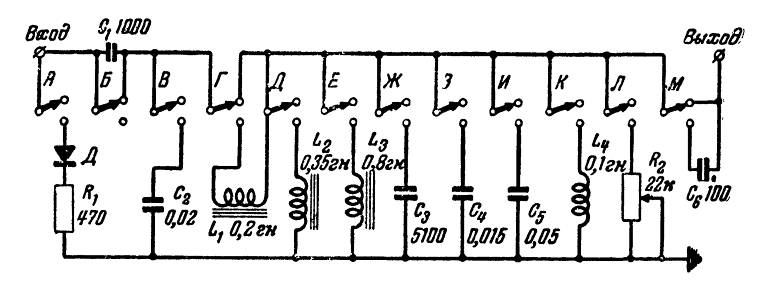


Рис. 15. Схема панели для подбора тембров.

шим преобразованием ее в формантном фильтре. Для создания тембров гобоя и трубы лучше использовать пилообразную форму напряжения. Напряжение такой формы дает полный ряд гармоник, тогда как напряжение симметрично-прямоугольной формы характерно наличием, в основном, лишь одних нечетных гармоник.

На рис. 15 приведена типовая схема экспериментальной панели с набором катушек индуктивностей, конденсаторов и сопротивлений для отработки тембров. Конденсаторы C_2, C_3, C_4 и C_5 служат для подбора формантной частоты при подключении их параллельно к катушкам L_2 или L_3. Катушка L_1 может оказаться полезной для создания тембра трубы, а вместе с катушкой L_2 — для тембра саксофона. Тембр гобоя хорошо имитируется при включении L_2, C_3 и C_4.

При переводе переключателей *К*, *Л* и *М* в нижнее положение схема на рис. 15 приобретает свойства дифференцирующей цепочки, превращающей подводимые к ней колебания в серию остроконечных импульсов. Такая форма напряжения при малой его величине создает тембр смычковых инструментов (скрипка, виолончель). Имитация

смычковых инструментов на одноголосном клавишном электромузыкальном инструменте менее эффектна, чем на грифовом, и требует от исполнителя больших навыков в нюансировке звуков с помощью регулятора громкости.

Катушки L_1, L_2 и L_3 должны быть хорошего качества. L_1 изготовляется на броневом сердечнике из магнитодиэлектрика. L_4 выполняется в виде галет с универсальной намоткой.

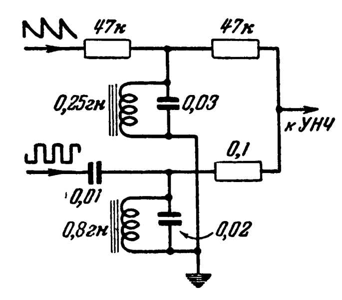


Рис. 16. Схема формантной цепи для имитации человеческого голоса.

Для создания характерного тембра гобоя формантный контур должен иметь высокую добротность. Когда же тембру нужно придать мягкий приглушенный характер, свойственный, например, валторне, затухание в контуре должно быть увеличено. Это достигается путем шунтирования контура сопротивлением.

Формантный контур, состоящий из параллельно соединенных индуктивности и емкости, сохраняет тембр в пределах 1,5—2 октав. Для продления тембра в более широком диапазоне применяют последовательное соединение нескольких контуров. Такой метод очень часто используется в многоголосных инструментах.

Формантные цепи в одноголосных инструментах обычно включаются после манипуляторного каскада. Соединять их с выходом генератора тона не рекомендуется, так как это может привести к нестабильности генератора.

На рис. 16 приведена схема формантной цепи, при помощи которой можно имитировать пение человека с закрытым ртом. Эта цепь состоит из двух контуров, к одному из которых подводится напряжение пилообразной, а к другому прямоугольной формы. Для получения напряжения прямоугольной формы можно использовать симметричный мультивибратор, синхронизированный от генератора тона с пилообразной формой выходного напряжения.

Иногда при отработке тембров на некоторых участках полного диапазона звучания в музыкальном тоне появляется резкий «скрипучий» призвук, что объясняется возникновением в спектре звука новых ярко выраженных нечетных гармоник, разделенных большой полосой частот. Для устранения такого призвука можно включить германиевый диод *Д*, как это показано на рис. 15. Обладая одно-

сторонней проводимостью, диод позволяет весьма эффективно воздействовать на амплитуды одного какого-либо знака, чем и объясняется влияние его на тембр. Это влияние будет зависеть и от полярности включения, и от типа диода, вследствие чего диоды применяются в качестве распространенного средства управления тембрами, наиболее пригодного в тех случаях, когда звуки нужно смягчить.

УПРАВЛЕНИЕ ВОЗНИКНОВЕНИЕМ И ЗАТУХАНИЕМ ЗВУКА

Существующие способы подавления щелчков при смене тонов в электромузыкальных инструментах сводятся к тому, что звуковые колебания в громкоговорителе при нажатии пальцем на клавишу или гриф появляются при очень малых значениях амплитуды, которая затем плавно, но достаточно быстро нарастает до своего максимального значения. Затухание колебаний должно происходить в обратном порядке с плавным уменьшением амплитуды до нуля, иначе снятие пальца с клавиши или грифа будет также сопровождаться щелчком.

Характер звука зависит не только от его спектрального состава, но и от того, с какой скоростью будут возникать и затухать звуковые колебания отдельных тонов. В духовых музыкальных инструментах даже при отрывистом исполнении (стаккатто) звук возникает и исчезает не мгновенно. Если записать на магнитофоне непрерывное звучание одного из духовых инструментов, а затем удалить начало и конец записи и снова воспроизвести звук, то едва ли даже опытный музыкант определит название инструмента, звук которого он слышит. Из этого можно заключить, что особенности возникновения звука (атака) и его затухания, характерные для различных музыкальных инструментов, также должны учитываться, если их звучание предполагается имитировать средствами электромузыки.

Разберем несколько схем, при помощи которых можно устранять щелчки и менять степень атаки и затухания звука в электромузыкальных инструментах.

На рис. 17 приведена схема оконечного каскада усиления низкой частоты электромузыкального инструмента. На катод лампы 6П6С подается большое положительное напряжение. Нормально, когда контакт *K* разомкнут, запертая лампа преграждает путь звуковой частоте к громкоговорителю. При замыкании контакта *K*, который находится в грифе или клавиатуре, отрицательное смещение на управляющей сетке лампы уменьшается, и лампа отпи-

рается. Отпирание и запирание лампы при помощи контакта K происходят с некоторой задержкой благодаря заряду и разряду конденсаторов C_1, C_2 и C_3. При размыкании сопротивления R_1 выключателем $Вк$ время задержки возрастает.

Наиболее распространенный метод управления возникновением и затуханием звука в электромузыкальном инструменте состоит в применении специального каскада — манипулятора. Этот каскад работает на пентоде с удлиненной характеристикой и обычно включается между генератором тона и формантными цепями.

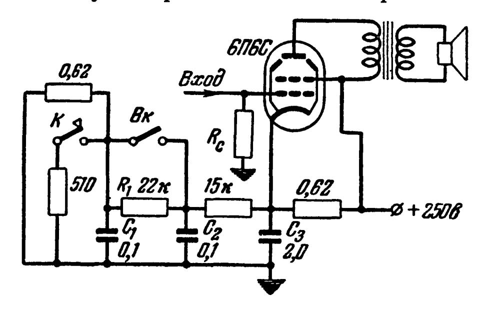


Рис. 17. Управление атакой и затуханием в оконечном каскаде усиления.

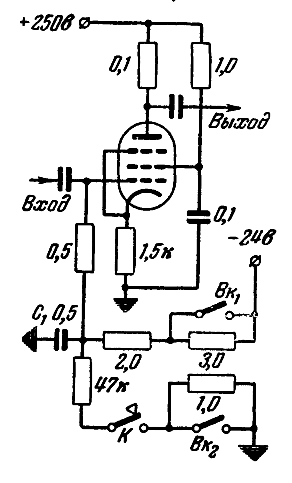


Рис. 18. Схема манипулятора с отрицательным смещением.

На рис. 18 приведен один из вариантов схемы манипуляторов. Высокочастотный пентод типа 6К3 или 6К4П нормально заперт отрицательным смещением 24 *в*, причем отпирание лампы производится замыканием контакта K. Выключатель $Вк$ служит для изменения степени атаки. При замыкании контакта K разряд конденсатора C_1 будет происходить медленнее, чем в том случае, когда $Вк_2$ замкнут. Таким образом, при разомкнутом выключателе $Вк_2$ атака получается более мягкой. Выключатель $Вк_1$ служит для изменения времени затухания звука. Если он замкнут, то в момент размыкания контакта K конденсатор C_1 будет заряжаться быстрее, поэтому при разомкнутом $Вк_1$ время затухания звука увеличивается. Напряжение на экранирующую сетку лампы должно быть несколько меньшим обычного.

В тех случаях, когда не имеется возможности получить отрицательное смещение от общего выпрямителя, запираю-

щее напряжение на манипулятор следует подавать в катодную цепь. Такой вариант представлен на рис. 19. Лампа манипулятора здесь запирается за счет положительного напряжения, подаваемого на ее катод. Это напряжение снимается с делителя, составленного из ряда сопротивлений, которые включены в цепь питания анодов. Выключателем *Вк* можно менять степень затухания. Переменное сопротивление *R* служит для подбора режима манипулятора и по завершении наладки может быть заменено постоянным сопротивлением.

Лучший результат в смысле подавления щелчков дают манипуляторы, собранные по двухтактной схеме. Для двухтактного манипулятора необходим низкочастотный входной трансформатор, вторичная обмотка которого должна иметь вывод от средней точки. Выход такого манипулятора может соединяться с входом последующего двухтактного усилителя. При этом отпадает надобность в фазоинверсном каскаде.

При отработке схемы манипулятора для одноголосного инструмента нужно помнить, что слишком мягкая атака (большая постоянная времени) лишает исполнителя возможности играть бегло, так как длительность звучания отдельных нот может оказаться значительно меньше времени, необходимого для полного нарастания звука.

Разобранные схемы требуют применения в клавиатуре двух групп контактов, одна из которых меняет высоту тона, а другая управляет запирающим смещением. При малейшем нажатии пальца на клавишу от генератора тона к манипулятору подаются звуковые колебания с частотой, соответствующей данному полутону, а дальнейшее нажатие пальца открывает манипулятор. При поднятии пальца происходит обратное — вначале начинает плавно запираться манипулятор, а затем выключается генератор тона. Слишком длительного затухания при таком способе получить нельзя, так как даже при большой постоянной времени запирающей цепи манипулятора генератор тона будет отключен ранее, чем окажется запертым манипулятор.

В большинстве струнных музыкальных инструментов, возбуждаемых ударом (фортепиано) или щипком (гитара, арфа), жесткая атака сразу сменяется плавным затуханием. Амплитудная характеристика такого звука имеет резкий подъем, острую верхушку и длительный экспоненциальный спад. При имитации звуков струнных щипковых инструментов нормально запертый манипулятор должен отпираться на очень короткий промежуток времени неза-

висимо от того, сколько времени будет замкнут контакт *К*.

На рис. 20 приведена простая схема управления манипулятором при имитации звука таких инструментов. Контакт *К* должен иметь два положения. В нормальном (верхнем) положении конденсатор *С* присоединен к положительному полюсу источника постоянного напряжения *U*. При переводе контакта в нижнее положение конденсатор разряжается через сопротивление *R* на цепь управляющей или экранирующей сетки лампы манипулятора, которая отпирается. Время затухания определяется величиной напряжения *U* и сопротивлением *R*. Отпирание манипулятора может производиться и по цепи катода. Для этого полярность источника напряжения *U* должна быть обратной.

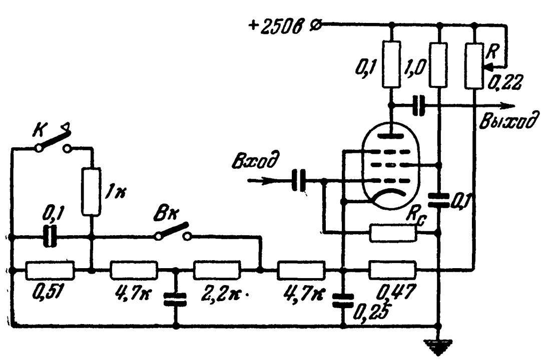


Рис. 19. Схема манипулятора с положительным смещением.

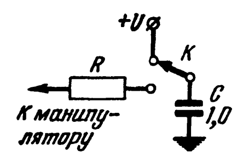


Рис. 20. Схема для имитации звука щипковых инструментов.

В многоголосных инструментах устранение щелчков и управление возникновением и затуханием звука может быть решено и другим путем. В большинстве зарубежных конструкций анодная цепь каждого отдельного генератора тона обладает большой постоянной времени. На рис. 2 была показана типичная схема генератора тона для многоголосного инструмента. Напряжение на аноде лампы при замыкании контакта *К*, находящегося под клавишей, устанавливается не сразу, благодаря чему устраняется возможность появления щелчков. Используя большие величины конденсаторов и сопротивлений, можно значительно увеличить время затухания колебаний в генераторе тона. Однако не нужно забывать, что это может привести к нестабильности частоты генератора. Нарастание и затухание звука при большой постоянной времени анодной цепи в таком случае будут сопровождаться изменениями высоты тона.

Чтобы избежать этого, катушки контуров генераторов должны иметь очень высокую добротность.

Более доступный способ получения больших затуханий звука в многоголосных инструментах—это использование схем *RC*-генераторов, колебания в которых нарастают и затухают медленнее, чем в *LC*-генераторах, а изменения анодного напряжения почти не сказываются на высоте тона.

Если в цепь катода лампы одного из *RC*-генераторов, схемы которых были приведены на рис. 3 и 4, ввести сопротивление $R_к$ большой величины, то лампа запрется. При нажатии клавиши это сопротивление шунтируется конденсатором или другим сопротивлением, вследствие чего отрицательная обратная связь резко уменьшается, и в генераторе возникают колебания. При возвращении клавиши в исходное положение колебания медленно затухают. Затухание звука при таком способе происходит гораздо медленнее, чем его возникновение. Величина сопротивления $R_к$ подбирается такой, чтобы генератор находился на грани возникновения колебаний, емкость шунтирующего конденсатора берется не менее 0,5 *мкф*, а шунтирующее сопротивление—порядка 2 *ком*.

ВИБРАТО И ТРЕМОЛО

Игра на некоторых музыкальных инструментах, таких, как скрипка, например, сопровождается вибрацией звука (вибрато). Такая вибрация представляет собой небольшие периодические изменения высоты тона, которые значительно оживляют звук инструмента. Эффект вибрато ощущается также и при небольших периодических изменениях громкости постоянного по высоте тона.

В грифовых электромузыкальных инструментах вибрато можно получать, как и при игре на скрипке, за счет колебаний пальцев исполнителя, находящихся на грифе. Это, конечно, требует известной тренировки. В клавишных электромузыкальных инструментах вибрато создается путем частотной или амплитудной модуляции звуковых колебаний напряжением от вспомогательного генератора с частотой колебаний 5—8 *гц*.

Для получения амплитудного вибрато модулирующее напряжение от генератора вибрато может подаваться на сетку лампы манипулятора или одного из каскадов усиления низкой частоты. Более широкое применение нашли частотное вибрато и вибрато, использующее оба вида модуляции. В этих случаях генератор вибрато связывается

с генератором тона. Форма выходного напряжения генератора вибрато не должна иметь резких перепадов. Лучше если это напряжение синусоидально.

На рис. 21 приведена схема простого генератора на неоновой лампе типа МН-3. Как уже упоминалось, для генератора тона такая схема неприемлема, но для генератора вибрато, где стабильность частоты не имеет такого значения, как в генераторе тона, эту схему можно применить. Чтобы приблизить форму напряжения к синусоидальной, в схему введен дроссель *Др* с большой индуктивностью.

При замыкании выключателя *Вк* конденсатор *С* начинает заряжаться через сопротивление R_3. Как только напряжение на конденсаторе возрастет до напряжения зажигания лампы и она загорится, сопротивление ее резко падает и конденсатор разряжается через дроссель *Др*, поддерживая горение лампы. Когда напряжение на лампе станет меньше напряжения погасания и лампа погаснет, весь процесс начнет повторяться.

Сопротивление R_2 служит анодной нагрузкой генератора тона, а сопротивление R_1 является общим для обоих генераторов (подбором величины этого сопротивления устанавливается глубина вибрато). Для сердечника дросселя используются пластины Ш-12 (толщина пакета 12 *мм*). Сердечник собирается без зазора. Обмотка дросселя выполняется проводом ПЭЛ 0,1 до заполнения каркаса. Выключатель *Вк* служит для включения вибрато. При неправильном включении неоновой лампы генератор может не работать. В этом случае следует поменять местами подключаемые к лампе концы.

На рис. 22 приведена схема более совершенного генератора вибрато на двойном триоде с большим коэффициентом усиления (6Н9С или 6Н2П). Левый (по схеме) триод работает как *RC*-генератор, а правый как реактивная лампа. Выход реактивной лампы через конденсатор *С* соединяется с управляющей сеткой лампы генератора тона. Глубина вибрато изменяется при помощи переменного сопротивления *R*. Если инструмент многоголосный, то между конденсатором *С* и сеткой лампы каждого генератора тона ставятся отдельные развязывающие сопротивления величиной около 1 *Мом*. Один такой генератор вибрато способен воздействовать на любое число генераторов тона, применяемых в многоголосном инструменте.

Нужно заметить, что использование одного генератора вибрато в многоголосных инструментах придает их звуку специфический тембр (за счет монотонности синхронной

вибрации). В реальном смычковом ансамбле каждый музыкант автономно создает свою частоту вибрато. Такое разнообразие периодов вибрации придает звучанию ансамбля определенный колорит. Некоторого улучшения в звучании многоголосного инструмента можно достигнуть применением нескольких генераторов вибрато. Если, например, выделить один генератор вибрато на каждые три соседних полутона, одноименных для всех октав, то это хотя и потребует четырех таких генераторов, зато заметно улучшит благотворное влияние вибрато на общее звучание инструмента.

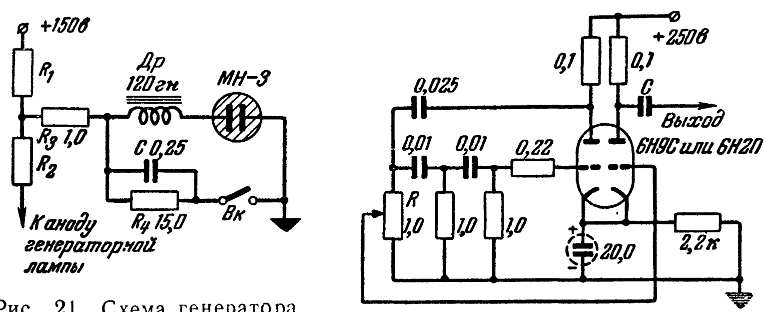


Рис. 21. Схема генератора вибрато на неоновой лампе.

Рис. 22. Схема генератора вибрато на двойном триоде.

Лучшим видом вибрато в музыкальных инструментах является унисонный эффект. Унисоном называют такое созвучие, которое получается при одновременном воспроизведении звука одной и той же высоты двумя или несколькими музыкальными инструментами. Точная настройка двух музыкальных инструментов на одну и ту же частоту колебаний практически невозможна, так как ухо человека не способно различать расстройку по частоте, если она менее 0,3%. Разность частот звуковых колебаний двух или нескольких инструментов, составляющая единицы герц, не нарушает созвучия этих инструментов, но вследствие возникновения биений придает ему приятное вибрирующее звучание, чем и характеризуется унисонный эффект. Он бывает особенно выразительным при исполнении одной и той же партии несколькими однотембровыми инструментами.

Унисонный эффект с успехом используется опытными настройщиками фортепиано для получения намеренного расхождения частот колебаний струн каждого тона с расчетом на образование медленных биений, значительно улучшающих звучность инструмента.

Вибрация звука электромузыкального инструмента, осуществляемая с помощью генератора вибрато, при длительном воздействии на ухо слушателя утомляет его своей строгой периодичностью. Унисонный эффект, представляющий собой частотно-амплитудное вибрато с меняющимся периодом колебаний, лишен этого недостатка.

В некоторых зарубежных электроорганах унисонный эффект достигается применением вместо одного ряда генераторов тона нескольких таких рядов, каждый из которых управляется отдельной клавиатурой. Радиолюбителям стремиться к подобным устройствам не следует, так как из-за сложности конструкции и большого количества применяемых деталей они стоят очень дорого и, в общем, редки.

Очень остроумно решена задача получения унисонного эффекта в советском многоголосном инструменте электрогармониуме, использующем 12 генераторов тона с последующим делением частоты. Описание принципа работы унисонного устройства электрогармониума было приведено в брошюре И. Д. Симонова и С. Г. Корсунского «Электромузыкальные инструменты» [1].

Простой метод получения унисонного эффекта в одноголосном инструменте заключается в применении двух генераторов тона, выходные напряжения которых подаются на общую формантную цепь, либо через ламповый смеситель, либо непосредственно. В качестве смесителя можно использовать двойной триод с общей анодной нагрузкой. Так как каждый из генераторов должен иметь свою частотозадающую цепь, в клавиатуре устанавливается дополнительная группа контактов. Для избежания синхронизации одного генератора другим анодное питание на них подается через отдельные развязывающие цепи. После того как один из генераторов будет настроен по фортепиано, производится настройка второго генератора в унисон с первым. Критерием правильной настройки второго генератора служит приятное созвучие с хорошо выраженным вибрато.

Другим украшением звука кроме вибрато является тремоло. Обычно под термином «тремоло» подразумевают глубокое амплитудное вибрато, при котором непрерывное звучание становится трелью. Частота изменений звука при тремоло в 2—3 раза выше, чем при вибрато.

В отношении электромузыкальных инструментов термином «тремоло» принято обозначать особый вид скачкообразных изменений звука, подобный звучанию струнных

---

[1] Госэнергоиздат, 1957.

щипковых инструментов (мандолина, домра, балалайка). Для имитации тембра таких инструментов можно применить любой релаксационный генератор с частотой колебаний порядка 10—15 *гц*, выходное напряжение которого используется для отпирания нормально запертых ламп усилителя низкой частоты.

Необходимо отметить, что генератор тремоло, если его подключить к одному из однотактных каскадов усиления, способен создавать помехи в виде толчков низкого тона

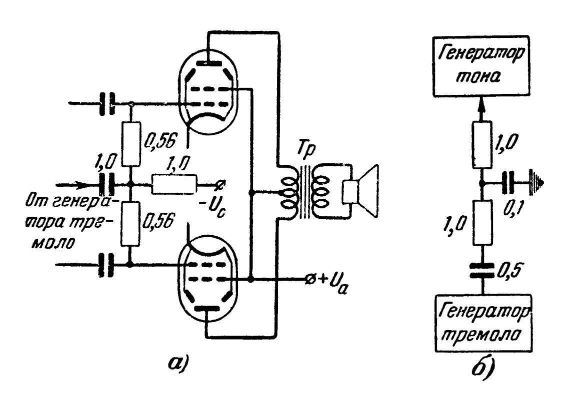


Рис. 23. Использование релаксационного генератора для получения тремоло и вибрато.

а — схема соединения с выходным двухтактным каскадом; *б* — схема соединения с генератором тона.

(«бубнящий» звук). Радикальным средством устранения такого недостатка является использование двухтактной схемы выходного каскада в тракте усиления электромузыкального инструмента.

Если переменное напряжение от генератора тремоло наложить на постоянное напряжение смещения, подаваемого на управляющие сетки ламп обоих плеч каскада (рис. 23,*а*), то на вторичной обмотке выходного трансформатора *Тр* переменное напряжение тремоло будет отсутствовать, так как на сетки ламп оно поступает в одной и той же фазе. Действие генератора тремоло будет проявляться в периодических изменениях громкости музыкального тона. Тремоло звучит более эффектно при быстром отпирании и медленном запирании усилительного каскада. Для этой цели можно использовать импульсы напряжения положительной полярности с крутым нарастанием и медленным спадом.

Пример использования мультивибратора для имитации звуков мандолины и банджо приводится далее в описании конструкции «Электротона-2».

Путем несложных переключений генератор тремоло практически удается использовать и для получения вибрато. В этом случае частота колебаний генератора тремоло уменьшается примерно вдвое и его выходное напряжение подается через *RC*-фильтр в одну из цепей генератора тона. Способ связи генератора тремоло с генератором тона через *RC*-фильтр показан на рис. 23,*б*.

При налаживании генераторов вибрато и тремоло исправность их проще всего определять по колебаниям стрелки вольтметра постоянного тока, присоединенного к аноду лампы любого из этих генераторов.

УСИЛЕНИЕ И РЕГУЛИРОВКА ГРОМКОСТИ

После того как колебания низкой частоты, пройдя формантные цепи, приобретут необходимую тембровую окраску, они поступают на усилительный тракт. Требования, предъявляемые к усилителям для одноголосных и многоголосных инструментов, неодинаковы. Уровень напряжения звуковой частоты на входе усилительного тракта для той и другой категории инструментов примерно одинаков и составляет сотые доли вольта, поэтому и в том, и в другом случае можно применять распространенные схемы усилителей, состоящие из трех-четырех каскадов.

В отношении качества усилителей дело обстоит иначе. Если для одноголосного инструмента можно применить любой усилитель, используемый при воспроизведении грамзаписи, с коэффициентом нелинейных искажений до 3%, то для многоголосного инструмента подойдет только весьма высококачественный усилитель с минимумом нелинейных искажений. Объясняется это следующим.

В многоголосных электромузыкальных инструментах в отличие от одноголосных на вход усилителя поступают колебания сразу от нескольких генераторов тона. Если амплитудная характеристика усилителя нелинейна, то вследствие взаимной модуляции этих колебаний на выходе усилителя появляются комбинационные частоты. Такие частоты негармоничны по отношению к составляющим входных напряжений и поэтому вносят в звуки значительные помехи в виде скрежущих вкраплений, делающих звучание неприятным.

Такое объяснение можно дополнить численным приме-

ром. Допустим, что на вход усилителя поступают напряжения от двух генераторов тона с частотами 400 и 700 *гц*. Если система усилительного тракта нелинейна, то на выходе его кроме гармонических составляющих появятся следующие комбинационные частоты: 100, 300, 1 000, 1 100, 1 500 и 1 800 *гц*. Частота 300 *гц* будет, очевидно, разностью основных тонов на входе усилителя (700—400 *гц*), а частота 1 100 *гц*—суммой их. Остальные комбинационные частоты будут являться результатом более сложных комбинаций, а именно, разностью или суммой второй гармоники одного входного напряжения с основной гармоникой другого, как, например, 2·400—700=100 *гц* и т. д.

Такие искажения, являющиеся результатом сложения и вычитания гармонических составляющих, называются искажениями типа взаимной модуляции или интермодуляционными искажениями. Радиолюбители, занимающиеся адаптеризацией струнных музыкальных инструментов, вероятно, замечали, что даже хороший усилитель с коэффициентом гармоник не более 2% может вносить искажения при использовании его для электрогитары. Интересно отметить, что эти искажения возникают только в аккордных созвучиях, при игре на одной струне их нет. Такое явление практически подтверждает действительное существование взаимной модуляции. С целью более полного определения качества усилительного тракта многоголосного инструмента рекомендуется испытывать его одновременно по двум частотам. Такой метод проверки в настоящее время начинает широко применяться при определении параметров звуковоспроизводящей аппаратуры вообще.

Причиной искажений типа взаимной модуляции могут быть нелинейности характеристик ламп, трансформаторов и громкоговорителей. При конструировании усилителя для многоголосного инструмента особенное внимание нужно уделить качеству выходного трансформатора и громкоговорителя, так как искажений за счет ламп можно легко избежать путем правильного выбора их режима. Для уменьшения искажений рекомендуется питать анодные цепи ламп генераторов тона и усилителя от отдельных выпрямителей.

Усилитель с выпрямителем и громкоговорителем желательно размещать в отдельном ящике. Из акустических соображений ящик должен иметь большие размеры и толстые стенки. Практика показала, что увеличение объема ящика заметно улучшает качество звучания некоторых тембров, в частности смычковых инструментов.

Хорошего звучания в многоголосных электромузыкальных инструментах можно достигнуть применением нескольких каналов усиления с отдельными громкоговорителями. В каждом из таких каналов смешиваются только те тона, частоты которых гармоничны между собой, и поэтому звучание аккордов получается без искажений. В этом случае вместо одного высококачественного усилителя с мощным громкоговорителем можно применить несколько простых усилителей с более дешевыми маломощными громкоговорителями. Во избежание связи усилителей через общий выпрямитель в цепь анодного питания каждого усилителя включаются развязывающее сопротивление и конденсатор большой емкости.

Так как при октавном воспроизведении искажения типа взаимной модуляции отсутствуют, то очевидно, что количество каналов усиления в многоголосных инструментах будет не более двенадцати. Исходя из того, что соседние полутона, как диссонирующие, в аккордах применяются редко, количество каналов усиления можно сократить до шести или даже до четырех.

На рис. 24 приведена скелетная схема одного из возможных вариантов уменьшения количества каналов усиления. Вход каждого из четырех усилителей через три соседних канала каждой октавы соединяется с соответствующими генераторами тона. Поэтому при нажатии одной из клавишей «до», «до диез» или «ре» в любой октаве работает усилитель 1-го канала, при нажатии клавишей «ми бемоль», «ми» или «фа»—усилитель 2-го канала и т. д.

Нужно заметить, что в таком варианте число генераторов тона тоже может быть сокращено до четырех, каждый из которых будет работать на одной из трех фиксированных частот. Однако такое сокращение количества усилителей и генераторов тона не всегда желательно, так как при этом несколько ограничиваются возможности многоголосного исполнения.

Регулировка громкости в обычных усилителях не имеет того значения, какое она приобретает в электромузыкальных инструментах. Впечатление, производимое игрой на электромузыкальном инструменте, зависит не только от качества самого инструмента, но и от того, насколько умело пользуется исполнитель регулировкой громкости для передачи различных динамических оттенков. Изменение уровня громкости удобнее производить ножным регулятором, так как при игре даже на одноголосном инструменте обе руки исполнителя заняты.

На рис. 25 изображен педальный регулятор громкости, который нетрудно изготовить самому. Переменное сопротивление *1* логарифмического типа укреплено на одном из кронштейнов *2*, поддерживающих ось *3*. На этой оси под углом 30—40° к основанию *4* закреплена качающаяся площадка *5*. Для того чтобы нога не скользила, сверху на площадку набивается лыжная резиновая накладка. Пружина *6* должна быть достаточно сильной, чтобы свободно опущенная ступня ноги ее не сжимала. В то же время от небольшого нажима ноги площадка должна начинать сжимать пружину. При этом пропущенная через ролики *7*

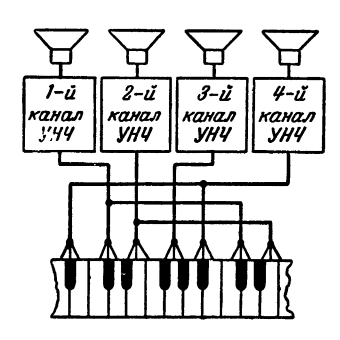


Рис. 24. Вариант уменьшенного количества каналов усиления.

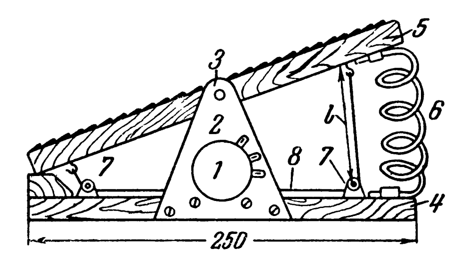


Рис. 25. Устройство педального регулятора громкости.

жильная струна *8* приведет во вращение ось переменного сопротивления. На ось сопротивления предварительно насаживается и закрепляется стопорным винтом валик (на рисунке не виден), окружность которого в 1,6 раза больше расстояния *l*, проходимого струной при нажатии педали до отказа. Для того чтобы струна не скользила по валику, она закрепляется на нем и несколько раз оборачивается вокруг него, как это делается в шкальных устройствах радиоприемников.

В другом варианте регулировки громкости вместо педали можно применить рычаг, который одним своим концом соединяется с осью переменного сопротивления, а другим концом выступает ниже клавиатуры или грифа. Для изменения силы звука рычаг приводится в движенье коленом.

Для обеспечения плавности регулировки громкости переменное сопротивление должно изменяться по логарифмическому либо по показательному закону. Для этой цели можно применять непроволочные сопротивления типа СП с буквой «Б» или «В», величиной от 100 *ком* до 1 *Мом*. Пе-

ременные сопротивления, используемые в электромузыкальных инструментах для регулировки громкости, подвержены большому износу и поэтому чаще выходят из строя, чем в радиоприемниках и обычных усилителях. С этой точки зрения более целесообразно пользоваться проволочными переменными сопротивлениями или сопротивлениями, скачкообразно изменяющими свою величину.

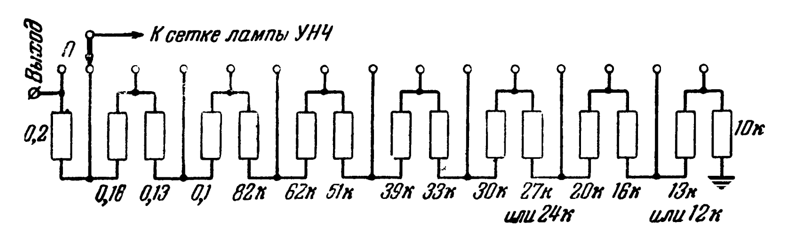


Рис. 26. Скачкообразный регулятор громкости.

Скачкообразный регулятор громкости можно изготовить самому из однополюсного переключателя, между контактами которого включаются постоянные сопротивления типа ВС-0,25. Вариант схемы такого регулятора громкости на 15 положений приведен на рис. 26. Передвижение ползунка переключателя *П* на один контакт соответствует изменению громкости на 2 *дб*. С точки зрения слухового восприятия плавности изменения громкости действие такого регулятора аналогично действию переменного сопротивления типа СП с логарифмической зависимостью.

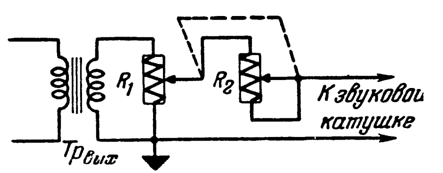


Рис. 27. Схема регулятора громкости в цепи звуковой катушки громкоговорителя.

Сопротивление регулятора громкости может включаться обычным способом, т. е. на вход одного из каскадов усилительного тракта. Чтобы избежать внешних помех провода, соединяющие регулятор громкости с усилителем, необходимо тщательно экранировать.

Схема регулировки громкости, нечувствительная к помехам и почти не влияющая на тембр звука, приведена на рис. 27. Здесь в цепь звуковой катушки громкоговорителя введено сдвоенное переменное проволочное сопротивление. При увеличении сопротивления R_1 нижнего плеча сопротивление R_2 должно уменьшаться.

В многоголосных инструментах при многоканальном усилении на каждый канал ставятся отдельные регуляторы громкости, которые должны регулироваться одновременно. Для этой цели все переменные сопротивления приходится объединять в один агрегат, что осуществить довольно трудно. Во избежание этого можно применить регулировку усиления путем изменения крутизны характеристики ламп, применяемых в усилителях. Регулировка громкости по такому способу достигается одновременным изменением отрицательного смещения на управляющих сетках или положительного напряжения на экранирующих сетках ламп, используемых в усилителях.

Лучший результат получается при использовании ламп с переменной крутизной характеристики. Для избежания интермодуляционных искажений общее регулируемое напряжение подается на каждый канал усиления через отдельные развязки.

Нужно заметить, что разобранные методы управления громкостью имеют недостатки при использовании их в многоголосных инструментах. Ножное управление громкостью, например, лишает исполнителя возможности усилить звучание мелодии в отношении аккомпанемента. Более совершенным управлением громкостью в многоголосном инструменте является пальцевое управление. При таком методе колебания от каждого генератора тона (или делителя частоты) поступают на отдельный регулятор громкости, который механически связан с клавишей.

В одном из зарубежных электроорганов в качестве таких регуляторов громкости были применены печатные сопротивления, менявшие свою величину при нажатии клавишей. Однако такая конструкция оказалась непрактичной, так как печатные покрытия не обладали достаточными надежностью и долговечностью.

Удачнее проблема пальцевого управления громкостью была решена в советском «электронном гармониуме», где в качестве регуляторов громкости использовались трансформаторы с переменным коэффициентом связи. Каждый такой трансформатор состоит из двух магнитофонных головок, между которыми может двигаться магнитный экран. Пальцевое управление громкостью в электронном гармониуме создает приятные плавные переходы от звука к звуку без применения манипуляторов.

Регулировку громкости в многоголосном инструменте можно осуществить, по-видимому, и другими способами, как, например, путем переменной емкостной связи. Паль-

цевое управление громкостью, так же как и унисонный эффект, представляют большой интерес для радиолюбителя-экспериментатора, работающего в области электромузыки.

КЛАВИАТУРА И ГРИФ

Клавиатура или гриф являются важнейшими частями музыкального инструмента, причем качество исполнения зависит не только от квалификации музыканта, но в значительной мере и от того, как хорошо сделаны эти части. Замыкание контактов в клавиатуре или грифе должно происходить при слабых нажимах пальцев и быть надежным.

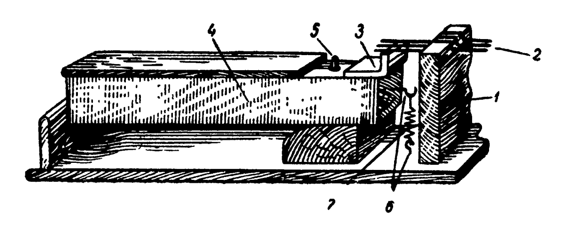


Рис. 28. Устройство контактов в готовой клавиатуре.

Прежде чем приступить к изготовлению клавиатуры, нужно решить, какое количество клавишей и контактов должно в ней быть. Для одноголосного электромузыкального инструмента клавиатура должна иметь 20—40 клавишей. В одноголосных инструментах, использующих октавное расширение диапазона, удобнее иметь клавиатуру с целым числом октав. Обычно эти инструменты имеют трехоктавные клавиатуры (36 клавишей). Большое количество клавишей в клавиатуре приводит к увеличению ее размеров и увеличению числа частотозадающих элементов, что при имеющихся способах октавного расширения диапазонов нужно считать нецелесообразным. Малое же количество клавишей (менее 20) не дает возможности достаточно хорошо исполнять многие из музыкальных пьес. Клавиатуры многоголосных инструментов обычно содержат 5—6 октав.

Для электромузыкального инструмента может быть использована старая клавиатура от аккордеона, фортепиано или фисгармонии. Чтобы использовать готовую клавиатуру, в нее нужно вмонтировать пружины для оттягивания клавишей и контакты для замыкания электрических цепей.

На рис. 28 показан один из наиболее удачных способов приспособления готовой клавиатуры для электромузыкального инструмента.

В задний торец каждой клавиши забивается крючок *6*, изготовленный из латунной или стальной проволоки диаметром 1 *мм*. Второй такой крючок забивается в основание клавиатуры ниже клавиши. На эти крючки навешивается стальная спиральная пружина *7*, которая своим напряжением удерживает клавишу в нормальном положении.

Коммутирующая часть клавиатуры выполняется следующим образом. В задней части клавиатуры по всей ее длине и на расстоянии 15—20 *мм* от концов клавишей укрепляют на ребро планку *1*, изготовленную из листового гетинакса или текстолита толщиной 8—10 *мм*. Длина этой планки должна соответствовать общей длине, занимаемой клавишами, а ее высота берется такой, чтобы она возвышалась над поверхностью клавишей примерно на 10 *мм*. В верхней части планки делают лобзиком пропилы глубиной 1—1,5 *мм* (количество пропилов над каждой клавишей зависит от количества устанавливаемых контактов). В пропилах закрепляют контакты *2*, представляющие собой отрезки стальной (желательно хромированной) проволоки диаметром 0,4—0,5 *мм*. До установки контакты с одного конца зачищают и залуживают (для облегчения дальнейшей припайки к ним проводов), а пропилы смазывают клеем БФ. Когда клей подсохнет, контакты устанавливают в пропилы так, чтобы нелуженые концы их приходились над концами клавишей. Затем пропилы окончательно затирают клеем и ребро планки заклеивают полоской прессшпана. На конце каждой клавиши укрепляют бронзовый или латунный угольник *3*, посредством которого будет производиться замыкание контактов.

В некоторых случаях замыкание контактов должно происходить неодновременно. Например, для получения в одноголосном инструменте жесткой атаки и длительного затухания (тембр струнных инструментов) генератор тона должен включаться при малейшем нажатии на клавишу, а манипулятор—лишь при нажатии клавиши до отказа. Если при такой конструкции коммутирующих контактов нажать пальцем до отказа на клавишу, а затем слегка отпустить и задержать ее в среднем положении, то выключится только манипулятор и звук будет медленно затухать. Практически такая система коммутации может быть выполнена путем различной глубины пропилов в планке или простым отгибанием контактов по вертикали.

Некоторые средства обогащения звука, такие, как октавное умножение, унисонный эффект и др., применяемые в более сложных конструкциях электромузыкальных ин-

струментов, требуют увеличения числа контактов, приходящихся на каждую клавишу. При кустарном изготовлении клавиатуры описанный способ позволяет установить до пяти контактов на каждую клавишу, что дает возможность управлять четырьмя электрическими цепями, имеющими один общий полюс.

На рис. 29 даны размеры клавишей для самостоятельного изготовления клавиатуры. Собранная клавиатура будет иметь небольшие размеры и может быть использована

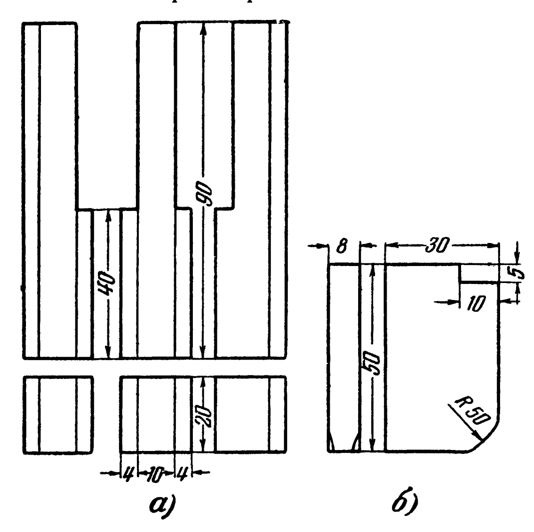


Рис. 29. Размеры клавишей для портативной клавиатуры.

а — белые клавиши; *б* — черные клавиши (на кромках *R*50 снять две фаски 2×45°).

для портативного одноголосного инструмента. Для изготовления клавишей нужно запастись брусками сухого дерева следующих трех сечений: 4×20 *мм*, 10×20 *мм* и 8×30 *мм*. Длинные клавиши изготовляются трех видов (в зависимости от того, какое место они занимают в октаве) и образуются путем склеивания их из брусков двух первых сечений. По видимым сторонам эти клавиши оклеивают белым целлулоидом. Короткие клавиши изготовляют из брусков одного сечения (8 × 30 *мм*), шлифуют их и покрывают черным лаком.

Как видно из рис. 30, каждая изготовленная клавиша *1* крепится при помощи бронзовой пластины *2* размерами 10×70 *мм* к основанию клавиатуры *3*. Контактные спи-

ральные пружины *4* крепятся на общем бруске *5*, находящемся несколько ниже основания клавиатуры. Они наматываются из нихромовой или стальной проволоки диаметром 0,5—0,7 *мм*. Для крепления пружины в бруске просверливают отверстия диаметром 1 *мм*, которые затем углубляют до половины бруска сверлом, диаметр которого несколько больше диаметра пружин. Один конец пружины вытягивается и залуживается, а другой пришлифовывается на наждачном кругу, после чего все пружины устанавливаются на свое место. Установка бруска с пружинами

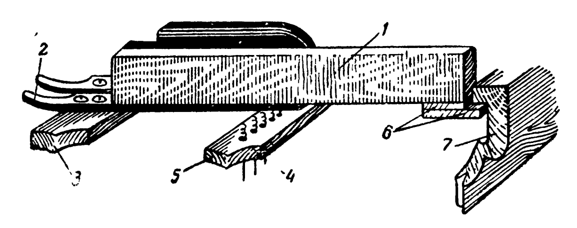


Рис. 30. Крепление клавишей и устройство контактов.

производится на середине клавиатуры. При необходимости увеличения количества контактных пружин они могут устанавливаться вдоль клавиши.

Белые клавиши должны иметь стопорное приспособление, ограничивающее их движение вверх, иначе при быстром снятии пальца с клавиши последняя за счет своих колебаний может повторно замкнуть контакты. Стопорное приспособление состоит из двух подклеенных снизу клавиши кусочков фанеры *6*, один из которых упирается в переднее обрамление клавиатуры *7* при нормальном положении клавиши. При полном нажатии белой клавиши она должна утопать на 10 *мм*.

Во время сборки клавиатуры нужно следить за тем, чтобы между клавишами оставался зазор около 1,5 *мм*. Для этой цели при закреплении клавишей между ними ставятся картонные прокладки соответствующей толщины, которые после того как клавиши будут укреплены, удаляются.

Гриф по своему устройству проще клавиатуры и обычно представляет собой переменное проволочное сопротивление, контакт с которым осуществляется нажатием пальца на токопроводящую ленту, натянутую параллельно поверхности обмотки сопротивления.

Устройство грифа показано на рис. 31.

Сопротивление наматывается из тонкой нихромовой проволоки на сухом деревянном бруске *1* прямоугольного се-

чения. Чтобы уменьшить неравномерность интервалов, соответствующих полутонам темперированной шкалы, сечение бруска в одну сторону постепенно уменьшается, а шаг намотки увеличивается. Для избежания сползания витков обмотки она с трех сторон пропитывается нитролаком или клеем БФ-2. Лента *2*, являющаяся поверхностью грифа, изготовляется из материи, снизу которой приклеивается клеем БФ-2 в несколько рядов галун. Последний можно заменить шелковой материей, многократно прошитой тонкой голой медной проволокой.

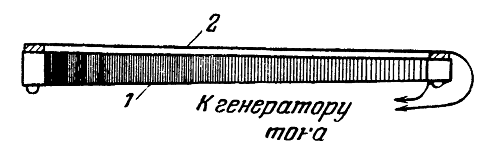


Рис. 31. Устройство грифа.

Гриф не должен быть слишком коротким, так как при малейшей неточности установки пальцев инструмент будет фальшивить. Практически приемлемая длина трехоктавного грифа не должна быть менее 60—70 *см*.

Если в схеме грифового инструмента предусмотрен манипулятор, то для управления им нужен кнопочный контакт, механически связанный с грифом. В этом случае гриф закрепляется по своей длине на трех пружинных шарнирах, изготовленных из стальной ленты. Замыкание этого контакта манипулятора должно происходить при достаточном нажатии пальца на гриф, по возможности, одинаковом на всем его протяжении.

Оформление клавиатуры или грифа нужно сочетать с удобным расположением органов управления инструментом. К ним относятся переключатели регистров, тембров, вибрато, тремоло и пр. Все они должны размещаться в непосредственной близости к клавиатуре или грифу с таким расчетом, чтобы не затруднять движений исполнителя.

В тех клавишных одноголосных инструментах, где не используется синхронизация или деление частоты и, следовательно, число частотозадающих элементов велико, последние выгоднее размещать в клавиатуре около контактных пружин. Это позволит значительно сократить длину монтажных проводов, соединяющих частотозадающие элементы с контактами. Экономичнее и удобнее оформлять частотозадающие элементы в виде общего проволочного сопротивления с передвигающимися по нему хомутиками.

Обмотку сопротивления удобно размещать на нескольких деревянных планках овального сечения, взяв для каждой октавы отдельную планку. Планки с хомутиками устанавливаются в передней части клавиатуры (на рис. 28 справа от контактов) и обмотки соединяются последовательно. Для удобства регулировки сопротивлений и осмотра контактной системы сверху клавиатуры в ее передней части делается откидная крышка.

Если клавиатура предназначается для одноголосного инструмента, то можно рекомендовать ее расположение вместе с генератором тона, формантными цепями и генератором вибрато в отдельном ящике длиной 50, шириной 15 и высотой 10 *см* (примерно). Ящик целесообразно оформить в виде столика с ножками из гнутых алюминиевых трубок. В клавиатуре необходимо предусмотреть установку многополюсного штепсельного разъема для соединения с остальной схемой. Усилитель с громкоговорителем и выпрямитель размещаются в другом ящике и соединяются с клавиатурой кабелем.

ВАРИАНТЫ ПОСТРОЕНИЯ СХЕМ ЭЛЕКТРОМУЗЫКАЛЬНЫХ ИНСТРУМЕНТОВ

Электромузыкальные инструменты, начиная с простых и кончая сложными, состоят в основном из одних и тех же элементов и узлов и отличаются друг от друга главным образом построением своих схем. Конструирование электромузыкального инструмента нужно начинать с составления его блок-схемы. После того как схема будет намечена, она несколько детализируется в части органов управления и коммутации отдельных цепей. Такая детализация окажется полезной в дальнейшем при выборе и отработке отдельных элементов схемы. Характеристики разнообразных схем элементов и узлов, приведенных в этой брошюре, облегчат радиолюбителю-конструктору их выбор.

Дело существенно облегчается, если радиолюбитель, впервые приступающий к сборке электромузыкального инструмента, сам является в какой-то мере музыкантом или пользуется советами другого радиолюбителя-музыканта. Начинать нужно с одноголосных инструментов, которые вовсе не следует считать чем-то недостаточно полноценным в музыке. Богатейшие возможности одноголосного электромузыкального инструмента хорошо изложены, например, в статье А. Володина («Радио», 1958, № 5). Приступая к работе в области электромузыки, с этой статьей весьма по-

лезно ознакомиться. Постройка многоголосного инструмента требует большого количества деталей и опыта в изготовлении высококачественных усилителей, и этим лучше заняться впоследствии.

Много хлопот и огорчений приносит инструмент с небрежно выполненной клавиатурой, поэтому к изготовлению этой части инструмента нужно отнестись с особым вниманием.

Простейший одноголосный электромузыкальный инструмент можно выполнить в виде приставки к обычному усилителю или радиоприемнику. Одна из таких приставок была описана в журнале «Радио» № 4 за 1954 г.

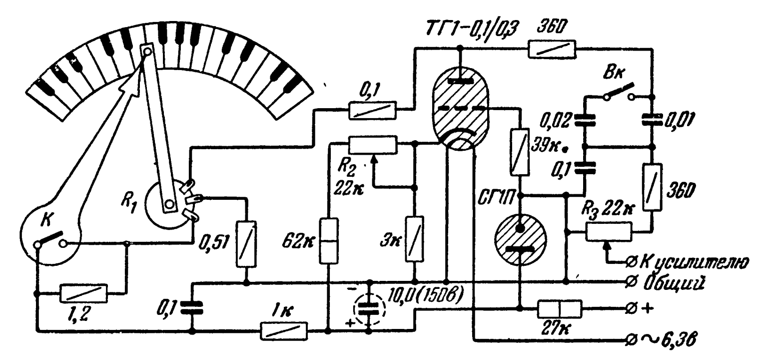


Рис. 32. Схема электромузыкальной приставки.

На рис. 32 показана схема другой приставки. Она представляет собой генератор тона с тиратроном типа ТГ1-0,1/0,3, питание которого производится от выпрямителя, имеющегося в усилителе или радиоприемнике. Для стабилизации анодного напряжения в приставке применен стабилитрон типа СГ1П.

Гриф, если так можно назвать устройство для изменения высоты тона, представляет собой шкалу, над которой двигается конец рычага. Другой конец рычага закреплен на оси переменного сопротивления типа СП перпендикулярно этой оси. После того как шкала будет разбита на соответствующие полутонам интервалы, ее для наглядности заменяют изображением рояльной клавиатуры. Извлечение звука производится путем нажатия на кнопку, расположенную на незакрепленном конце рычага.

Провода, идущие от кнопки, укладываются внутри рычага, который изготовляется из листового алюминия и имеет П-образное сечение. Для уменьшения щелчков кнопка

шунтируется сопротивлением 1,2 *Мом*. Сопротивление R_2 служит для подстройки инструмента, а R_3 — для регулировки громкости.

Диапазон приставки—около 2,5 октавы. Для его расширения введен включатель *Вк*. Вибрато создается легкими колебаниями рычага, но для облегчения техники игры в приставку можно добавить генератор вибрато. При желании изменить тембр параллельно входу усилителя включается формантный *LC*-контур.

Несмотря на простоту устройства такой приставки, исполнитель, обладающий некоторыми музыкальными способностями, может достичь с ее помощью неплохих результатов. Хорошо звучат, например, составленные из таких приставок дуэты и трио.

Блок-схема наиболее распространенного варианта одноголосного клавишного инструмента была приведена на рис. 1. Сборка и налаживание такой схемы не представят для подготовленного радиолюбителя особенного труда. С целью управления генератором тона и манипулятором в клавиатуре у каждой клавиши устанавливаются два контакта. Для генератора тона обычно применяют мультивибратор. Ввиду плохой стабильности мультивибратора анодное напряжение для него нужно стабилизировать. Желательно также стабилизировать и напряжение накала (с помощью барретера).

Введение в схему одноголосных инструментов делителей частоты преследует две цели: 1) расширение диапазона инструмента без увеличения числа частотозадающих элементов и 2) октавное умножение звуков. Соответственно этому существуют два варианта включения делителей частоты. В первом варианте (рис. 33,*а*) в зависимости от положения переключателя *П* можно получить понижение диапазона на одну или две октавы, а во втором (рис. 33,*б*) при замыкании выключателя *Вк* получается одновременное звучание двух тонов с интервалом между ними в одну октаву. В принципе можно получить не только удвоение звуков, но и утроение, учетверение и т. д., напоминающие собой звучание органа.

Переходной ступенью между одноголосными и многоголосными инструментами являются двухголосные. В этих инструментах применяются два генератора тона, управляемых одной клавиатурой. Формантные цепи, усилитель и громкоговоритель являются общими для обоих голосов инструмента. Получение двухголосия при помощи одной клавиатуры сопряжено со значительной сложностью устройства

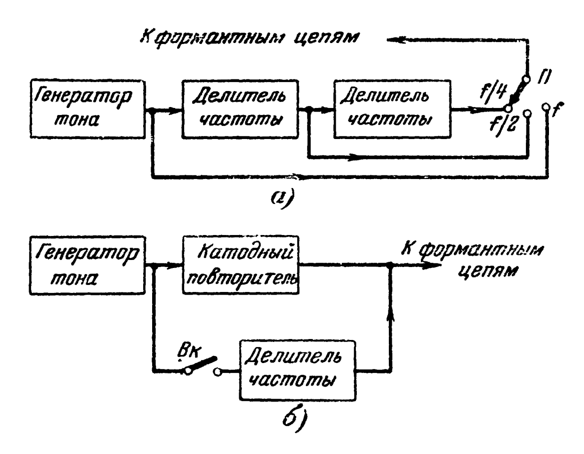


Рис. 33. Варианты применения делителей частоты.
а — октавное понижение диапазона; *б* — октавное умножение звуков.

ее контактной системы, вследствие чего стремиться к построению подобных электромузыкальных инструментов не следует.

Разберем несколько вариантов многоголосных инструментов. На рис. 34 приведена упрощенная блок-схема пятиоктавного многоголосного инструмента с делителями частоты. В инструменте имеется 12 стабильных по частоте генераторов тона *Г* и 60 делителей частоты *Д*. Каждый генератор

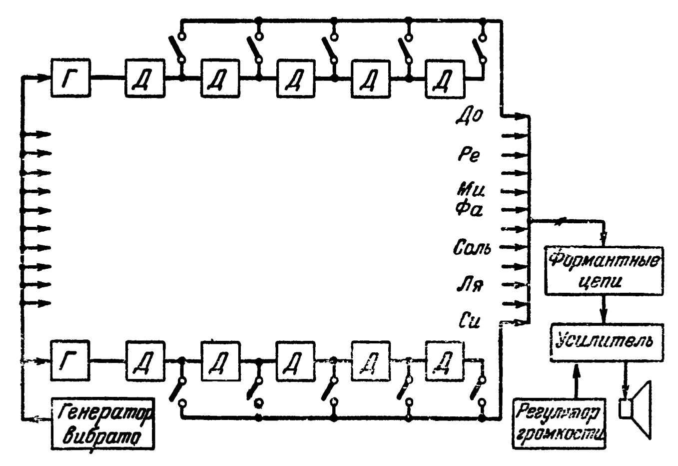


Рис. 34. Вариант многоголосного инструмента с делителями частоты.

и пять следующих за ним делителей образуют цепочку одноименных полутонов. Таких цепочек 12 (на схеме изображены только две крайние цепочки). Выход с каждого делителя через контакты соответствующей ему клавиши соединяется с общим каналом, в который входят формантные цепи, усилитель, регулятор громкости и громкоговоритель.

Для создания вибрато выходное напряжение генератора с частотой 5—8 *гц* подается на сетки всех 12 ламп генераторов тона. Для ослабления помех, являющихся следствием переходных процессов, в общий канал можно ввести еще один каскад — манипулятор. При этом количество контактов на каждую клавишу увеличивается до двух.

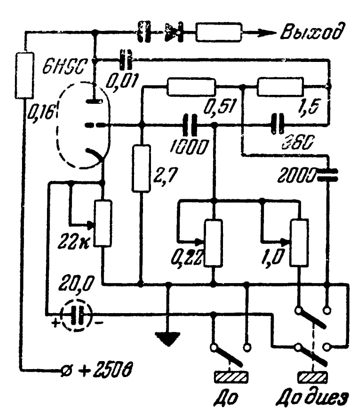


Рис. 35. Получение двух полутонов от *RC*-генератора.

Достоинством инструмента, собранного по этой схеме, является удобство его подстройки, которая заключается в изменении частоты 12 генераторов тона независимо от числа применяющихся делителей частоты. Недостаток схемы — неэкономичное использование ламп генераторов тона и делителей, которые все время находятся под анодным напряжением.

В других схемах многоголосных инструментов используются только генераторы тона, а делители частоты отсутствуют. При таком варианте каждой клавише инструмента соответствует отдельный генератор тона. В момент нажатия на клавишу на генератор поступает анодное напряжение и он возбуждается. Выходы всех генераторов тона подаются, как и в предыдущем варианте, на общий канал инструмента.

В упрощенном варианте такой схемы один генератор может использоваться для получения двух соседних полутонов. В этом случае количество генераторов тона сокращается вдвое, но коммутационная система клавиатуры усложняется. Если все имеющиеся в клавиатуре клавиши мысленно разбить на пары, то каждая вторая клавиша пары должна иметь на один контакт больше, чем имеет первая клавиша. Рис. 35 поясняет принцип использования одного *RC*-генератора для двух полутонов.

Особый интерес для радиолюбителей-экспериментаторов представит многоголосный инструмент с ограниченным числом генераторов. Обычно при создании такого вида инструментов идут по пути усложнения коммутационной части клавиатуры. Можно, например, принцип использования одного генератора для двух полутонов применить и для трех. Для этого каждая третья клавиша должна иметь на один контакт больше, чем вторая, а вторая на один контакт больше, чем первая. Однако такое сокращение генераторов в большинстве случаев приводит к ограничению возможностей получения некоторых аккордных созвучий.

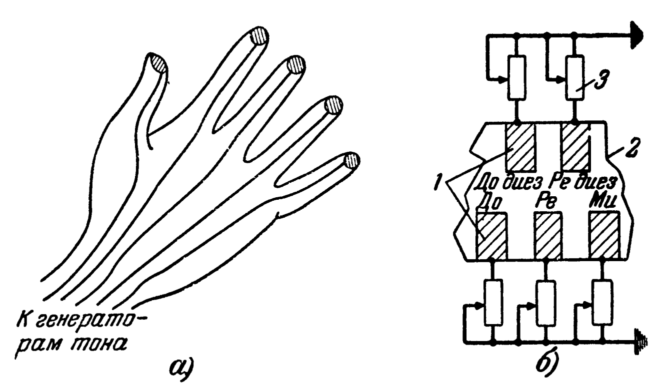


Рис. 36. Многоголосный инструмент с десятью генераторами тона.

а — перчатка с контактами; *б* — клавиатура.

Известный интерес в этом отношении представляет собой оригинальный многоголосный инструмент с 10 генераторами тона, позволяющий получать любые, предназначенные для фортепиано, аккордные созвучия. Идея такого инструмента заключается в том, что при пользовании инструментом исполнитель надевает на руки специальные перчатки из изоляционного материала, концы пальцев которых металлизированы и представляют собой контакты, соединенные посредством длинных экранированных проводов с управляющими сетками ламп десяти генераторов тона (рис. 36,*а*). Для возбуждения любого из генераторов сетку его лампы необходимо соединить с недостающим звеном схемы (частотозадающим элементом), которые находятся под клавиатурой.

Клавиши выполнены в виде металлических пластин *1* (рис. 36,*б*), изолированных друг от друга и закрепленных

на общей панели 2. Каждая из пластин соединена с одиночным частотозадающим элементом 3 (конденсатором или сопротивлением).

Для извлечения звука исполнитель касается пальцами рук в перчатках металлических клавишей. В момент соединения частотозадающих элементов с сетками ламп генераторов последние возбуждаются. Частота колебаний каждого генератора определяется величиной присоединенного к нему элемента. Выходы всех генераторов тона, как и в предыдущих вариантах многоголосных инструментов, соединяются со входом общего канала. Если в таком инструменте вместо общего канала применить для левой и правой руки два отдельных канала, то это даст возможность исполнителю менять громкость мелодии и аккомпанемента раздельно. В обычных многоголосных инструментах такой возможности нет.

Широкое внедрение в практику последних лет полупроводниковых триодов (транзисторов) позволит, по-видимому, в ближайшем будущем создавать и новые варианты многоголосных инструментов, в том числе портативных, экономичных и даже комфортабельных устройств с высокохудожественным звучанием, допускающих виртуозную игру.

ОДНОГОЛОСНЫЙ КЛАВИШНЫЙ ИНСТРУМЕНТ «ЭЛЕКТРОТОН-2»

Инструмент имеет трехоктавную клавиатуру, но при помощи регистрового переключателя перекрывает диапазон в пять октав (от «до» большой октавы до «си» третьей октавы). Применение делителей частоты значительно облегчает перестройку электротона под различные аккомпанирующие инструменты. Конструкция инструмента позволяет исполнителю вести правой рукой мелодию, а левой аккомпанировать на фортепиано. В электротоне всего 15 ламп, из которых 10 — двойные триоды.

Схема. Принципиальная схема инструмента без выпрямителя приведена на рис. 37. Для генератора тона использована схема с двойным Т-образным мостом. Генератор работает на лампе 6Н2П (по схеме левая половина лампы $Л_1$) в диапазоне 1 046—1 976 *гц*. Частота генератора зависит от общей величины сопротивления цепи, образуемой из подстроечных сопротивлений R_4—R_{15}.

Звуковые колебания с генератора тона через конденсатор C_5 поступают на вход первого делителя частоты (сетка

правого триода лампы $Л_1$). В инструменте четыре делителя частоты, каждый из которых работает на трех триодах. Для делителей частоты используются лампы 6Н1П, имеющие следующие обозначения по схеме:

1-й делитель—правый триод $Л_1$ и оба триода $Л_2$;
2-й делитель—оба триода $Л_3$ и левый триод $Л_4$;
3-й делитель—правый триод $Л_4$ и оба триода $Л_5$;
4-й делитель—оба триода $Л_6$ и левый триод $Л_7$.

Колебания для самой высокой октавы инструмента снимаются не прямо с генератора тона, а через усилитель первого делителя частоты (правый триод $Л_1$), чем значительно ослабляется влияние нагрузки на частоту генератора. Для остальных четырех октав инструмента колебания снимаются с выходов четырех делителей соответственно через конденсаторы C_{31}, C_{32}, C_{33} и C_{34}.

Для выбора нужного регистра служит переключатель $П_1$. В положении «Верхний регистр» в клавиатуре содержатся первая, вторая и третья, а в положении «Нижний регистр»—большая, малая и первая октавы. Таким образом, первая октава повторяется в обоих регистрах, что дает возможность исполнителю перейти из одного регистра в другой там, где для него это наиболее удобно. Для выбора одной из трех октав каждого регистра служат реле P_1, P_2 и P_3.

Как видно из принципиальной схемы, под каждой клавишей находится два контакта; один из них расположен выше, а другой ниже. При нажатии одной из клавишей в зависимости от того, к какой октаве относится нижний контакт, происходит срабатывание одного из трех реле. Реле P_1 относится к верхней октаве, P_2—к средней и P_3—к нижней. Обмотки всех трех реле соединены с положительным полюсом источника питания через их собственные контакты (нижние по схеме), что исключает возможность одновременного включения двух реле, относящихся к соседним октавам.

При срабатывании одного из реле колебания от соответствующего делителя частоты через одно из пяти уравнивающих сопротивлений (R_{81}—R_{85}) и через контакты переключателя $П_1$ поступают на сетку лампы предварительного усилителя (правый триод лампы $Л_7$). Если при положении переключателя $П_1$—«Верхний регистр» нажать клавишу в нижней (левой) октаве клавиатуры, то колебания на предварительный усилитель будут поступать от второго делителя частоты. При той же нажатой клавише, но в положе-

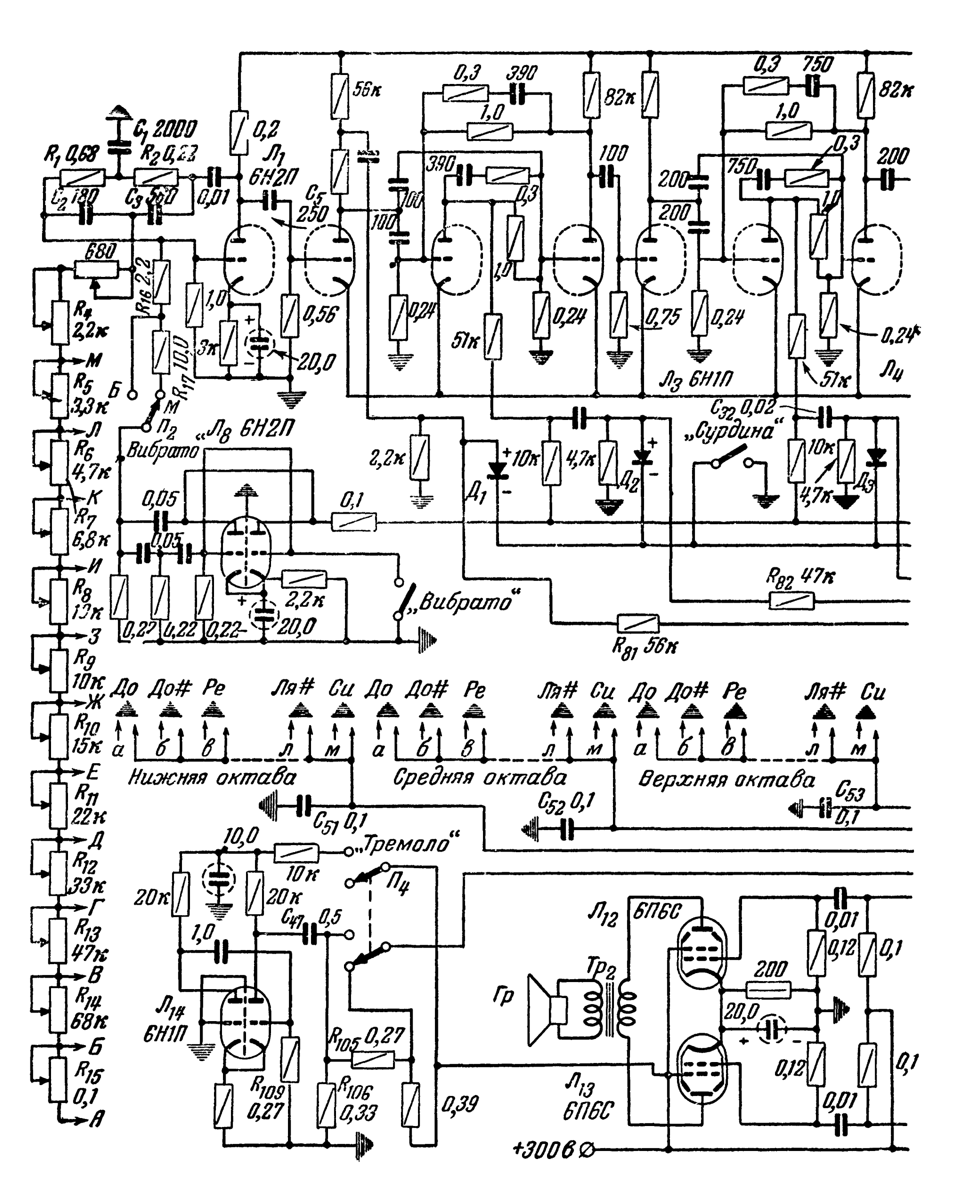
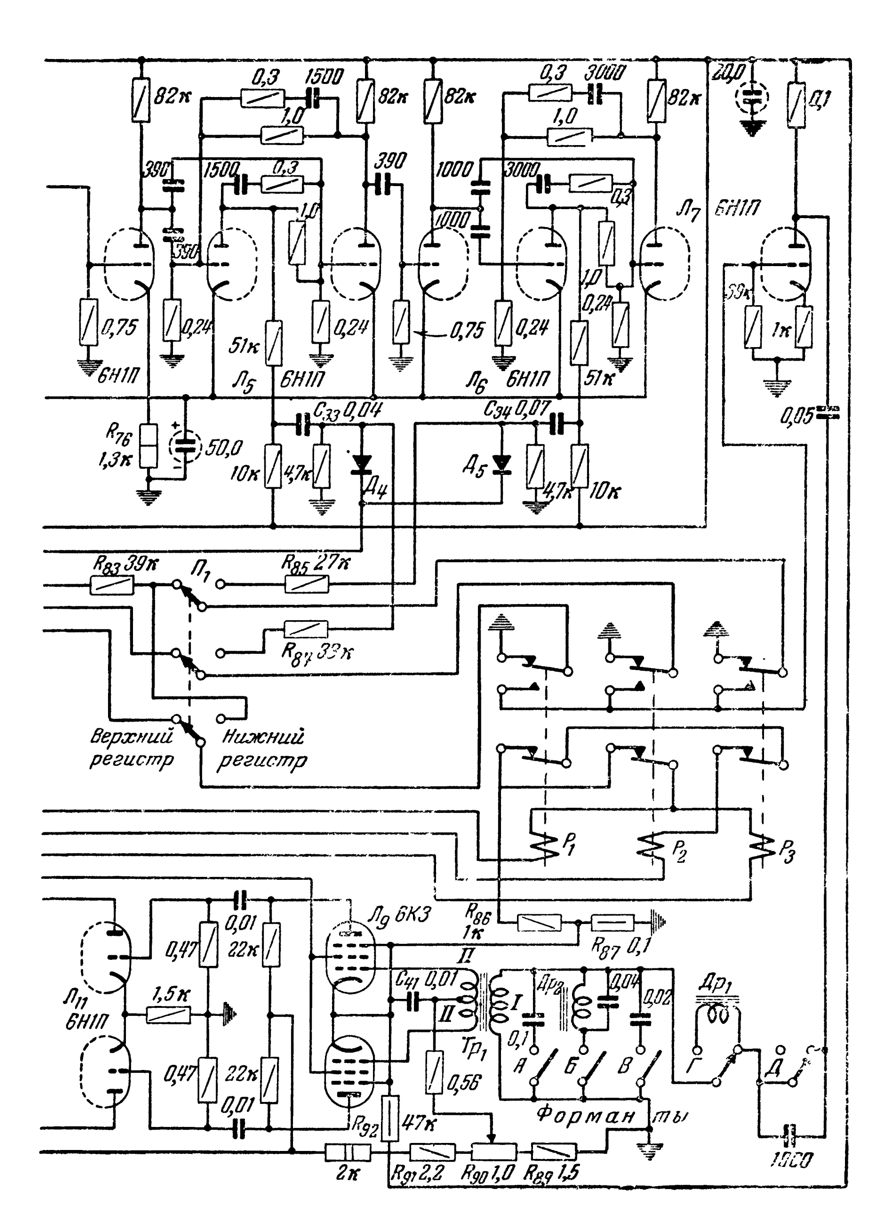


Рис. 37. Принципиаль



ная схема „Электротона-2“.

нии $П_1$—«Нижний регистр» колебания будут поступать от четвертого делителя.

После предварительного усилителя колебания подводятся к двухтактному манипулятору с двумя лампами типа 6К3 ($Л_9$ и $Л_{10}$). Между предварительным усилителем и манипулятором находятся формантные фильтры.

Работа манипулятора происходит следующим образом. Нормально каскад заперт за счет большого положительного напряжения, подаваемого на катоды ламп $Л_9$ и $Л_{10}$ с делителя напряжения, составленного из сопротивлений R_{87} и R_{92}. При нажатии любой клавиши до отказа параллельно сопротивлению R_{87} подключается цепь, состоящая из соединенных последовательно сопротивления R_{86} и обмотки одного из реле, отчего это реле срабатывает. Одновременно со срабатыванием реле напряжение на катодах ламп $Л_9$ и $Л_{10}$ падает со 140 до 90 *в* и манипулятор открывается. С другого делителя напряжения, составленного из сопротивлений R_{89}, R_{90} и R_{91}, подается положительное напряжение на сетки ламп манипулятора. Усиление манипуляторного каскада при нажатой клавише зависит от величины этого положительного напряжения. Для регулировки силы звука одно из сопротивлений делителя R_{90} взято переменным и вмонтировано в ножную педаль. Емкость конденсатора C_{41} определяет степень атаки и затухания.

После манипулятора следуют два двухтактных каскада усиления с лампами 6Н1П и 6П6С ($Л_{11}$, $Л_{12}$ и $Л_{13}$).

В электротоне имеются генератор вибрато и генератор тремоло. Генератор вибрато собран на лампе 6Н2П ($Л_8$). При помощи переключателя $П_2$ можно изменять глубину вибрато. Генератор тремоло работает на лампе 6Н1П ($Л_{14}$) и представляет собой несимметричный мультивибратор. При переводе переключателя $П_4$ в положение «тремоло» на аноды лампы $Л_{14}$ поступает анодное напряжение, а экранное напряжение на лампах $Л_9$ и $Л_{10}$ понижается от 140 до 60 *в*. С генератора тремоло выходное напряжение прямоугольной формы через конденсатор C_{47} поступает на экранирующие сетки ламп минипулятора. В периодически повторяющиеся моменты, когда импульсное напряжение складывается с постоянным экранным напряжением ламп 6К3, манипулятор резко отпирается, имитируя при этом характерное звучание мандолины при игре на ней медиатором.

Для изменения тембра звучания инструмента в нем, кроме пяти формантных переключателей *А*, *Б*, *В*, *Г* и *Д*

имеется еще выключатель «сурдина». В замкнутом положении этого выключателя выходные цепи делителей частоты шунтируются диодами $Д_1$—$Д_5$ типа ДГ-Ц6. Диоды включены так, что положительная часть импульсного напряжения срезается и звук приобретает мягкий затушеванный характер. Эффект сурдины особенно четко проявляется на самом нижнем и самом верхнем участках частотного диапазона инструмента.

Конденсаторы C_{51}, C_{52} и C_{53} служат для уменьшения искрения клавиатурных контактов, включающих реле.

Детали. Подстроечные сопротивления R_4—R_{15} взяты типа СП. Номиналы сопротивлений выбраны так, что каждое из них имеет запас для понижения частоты не более полутона; такая «растянутая настройка» уменьшает возможные уходы частот от их фиксированных значений за счет самих сопротивлений (механическое смещение ползунка или температурные изменения). Если сопротивления одного из указанных номиналов не найдется, его можно заменить другим, бо́льшим по величине. При крайней необходимости можно обойтись всего тремя номиналами переменных сопротивлений: 6,8 *ком* для R_4—R_7, *22 ком* для R_8—R_{11} и 100 *ком* для R_{12}—R_{15}.

Сопротивления R_1, R_2 и конденсаторы C_2, C_3, входящие в четырехполюсник обратной связи генератора тона, должны иметь допуск по величине $\pm 5\%$. Величины сопротивлений, используемых в делителях частоты, не являются строго обязательными (допускаются отклонения до $\pm 20\%$). Для регулировки громкости используется переменное сопротивление в 1 *Мом* вида «Б» или «В».

В электротоне применены реле типа РУ-3 с сопротивлением обмотки 22 *ком* (4 500 витков провода ПЭЛ 0,5). Могут быть использованы и другие типы реле с соответствующим набором контактов и током срабатывания не более 10 *ма.* Для уменьшения тока срабатывания реле и увеличения сопротовления обмотки катушку реле нужно перемотать до заполнения проводом ПЭЛ 0,05—0,06.

Переключатель регистров $П_1$ может быть собран из двух переключателей типа ТП2-1 (или одного ТП2-1 и одного ТВ2-1), ручки которых надо соединить перемычкой. Для включения вибрато применена кнопка — выключатель от настольной электролампы.

Трансформатор $Тр_1$ выполнен на сердечнике из пластин Ш-16 при толщине пакета 20 *мм.* Обмотка *I* имеет семь секций по 1 000 витков провода ПЭЛ 0,15 в каждой из них, а обмотка *II* 14 000 витков провода ПЭЛ 0,1 с отводом от

середины. Может быть использован и другой соответствующий трансформатор хорошего качества.

Дроссель $Др_1$ имеет индуктивность 0,25 *гн* и собран на броневом сердечнике из магнитодиэлектрика, а дроссель $Др_2$ выполнен на нестандартном Ш-образном сердечнике из гиперсила и имеет индуктивность 4,5 *гн.* (Последняя и является основной характеристикой этого дросселя.)

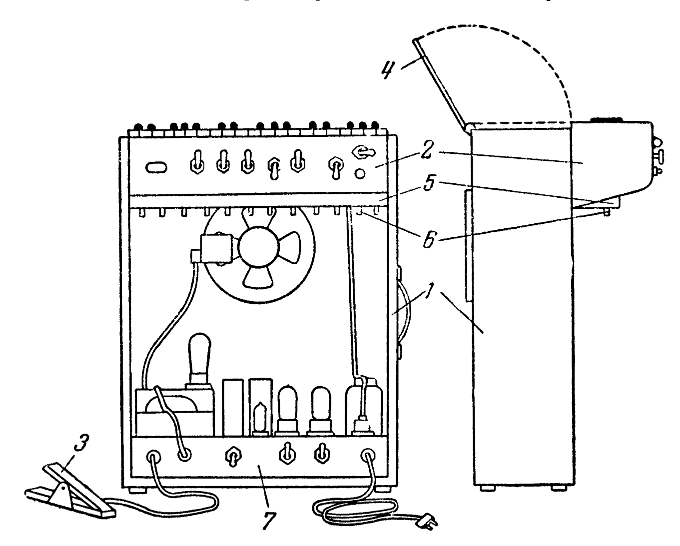


Рис. 38. Общий вид „Электротона-2".

Для питания электротона используется силовой трансформатор от приемника «Мир», но в нем была добавлена обмотка в 16 витков из провода ПЭЛ 1,2 для питания накала лампы $Л_9$—$Л_{14}$. Накал остальных ламп питается от основной обмотки накала. В выпрямителе использован кенотрон типа 5Ц4С.

Можно, конечно, использовать любой другой выпрямитель, обеспечивающий питание накала при токе 6,5 *а* и питание анодных цепей при токе 90 *ма* и напряжении 300 *в*.

Конструкция и монтаж. Инструмент состоит из трех отдельных частей: ящика, клавиатуры и педали. Общий вид электротона приведен на рис. 38.

Ящик имеет следующие размеры: высота 600, ширина 450 и глубина 150 *мм*. В нижней части ящика расположено главное шасси, на котором размещены выпрямитель, оконечный усилитель ($Л_9$—$Л_{11}$), манипулятор и генераторы

вибрато и тремоло. На передней стенке ящика, толщина которой 30 *мм*, укреплен пятиваттный громкоговоритель. Сбоку ящика имеется ручка для переноски инструмента, а сверху — складывающийся пюпитр для нот.

Клавиатура имеет три октавы и начинается с ноты «до». Клавиши (самодельные) в количестве 36 штук смонтированы на деревянной раме с внутренними размерами 420×95 *мм*. Под каждой клавишей находятся две спиральные пружины, замыкаемые при нажатии клавиши бронзовой пластиной. Последняя соединена с общим минусом схемы; кроме того, с ее помощью клавиша крепится на раме.

Под клавиатурой расположено малое шасси из дюралюминия размерами 420×120×150 *мм*, на котором размещены генератор тона, делители частоты, предварительный усилитель, формантные цепи и реле. Перед клавиатурой закреплена панель управления с формантными переключателями, а также переключателями $П_1$—$П_3$ и выключателем «сурдина». Включение тремоло производится на главном шасси, но для удобства переключатель $П_4$ может быть заменен соответствующим реле, включаемым кнопкой с панели управления. Клавиатура, малое шасси и панель управления образуют общий узел конструкции.

Главное шасси инструмента соединяется четырьмя кабелями с клавиатурой, педалью, громкоговорителем и электросетью (провод, соединяющий анод лампы предварительного усилителя с формантными цепями, должен быть заключен в экранирующую оплетку).

Для переноски инструмента клавиатура вдвигается, а педаль закладывается внутрь ящика, после чего они там закрепляются. С открытой стороны ящик закрывается вкладной фанерной крышкой.

Клавиатура электротона может быть совсем отделена от ящика, оставаясь электрически соединенной с главным шасси. С помощью особых струбцин ее можно прикрепить впереди клавиатуры обычного пианино или рояля и, ведя правой рукой мелодию, левой аккомпанировать самому себе на фортепиано.

Налаживание. Для налаживания электротона нужно иметь телефонные трубки, высокоомный вольтметр постоянного тока и хороший звуковой генератор или музыкальный инструмент. Один из штырьков шнура телефонных трубок соединяется с общим минусом (шасси), к другому штырьку присоединяется «пробник» (гибкий изолированный проводник длиной около 40 *см* с подпаяным на конце его конденсатором в 100—200 *пф*).

Налаживание начинается с определения нижней предельной частоты колебаний генератора тона. Для этого предварительно устанавливают подстроечные сопротивления R_4—R_{15} в положения, соответствующие их максимальной величине, а «пробник» присоединяют к положительному полюсу первого диода $Д_1$. Генераторы вибрато и тремоло при этом должны быть выключены.

Включив затем питание, нажимают клавишу «до» (безразлично в какой октаве) и, слушая в телефонные трубки, уменьшают общую величину сопротивелния плеча моста, начиная с R_{15} и переходя далее к R_{14}, R_{13} и т. д. При появлении в телефоне звука определяют высоту тона по звуковому генератору или по музыкальному инструменту. Нижняя предельная частота должна быть не выше 990 *гц*, т. е. не выше ноты «си» второй октавы. Такой запас в диапазоне возможных настроек генератора тона может оказаться полезным при необходимости подстраиваться под аккомпанирующий инструмент, что в практике встречается постоянно.

Если нижняя предельная частота будет выше 990 *гц*, то ее можно понизить увеличением емкости конденсатора C_1. Эту частоту не следует брать ниже, чем 930 *гц*, так как при этом может выйти за пределы генерации необходимая верхняя предельная частота, которая с учетом запаса в полтона должна быть не выше 2 090 *гц* (или не ниже ноты «до» четвертой октавы). Увеличение верхней предельной частоты генератора производится уменьшением емкости конденсатора C_1.

После того как будет установлен диапазон генератора тона, переходят к его настройке на 12 фиксированных частот. На музыкальном инструменте, под который подстраивается электротон, берется звук «си» третьей октавы и на электротоне нажимается клавиша «си» (любой октавы). При помощи переменного сопротивления R_4 звук генератора тона, прослушиваемый в телефонных трубках, подстраивается в унисон со звуком аккомпанирующего инструмента. Затем последовательно подстраиваются «си бемоль» — сопротивлением R_5, «ля» — сопротивлением R_6 и т. д.

Нужно заметить, что при эксплуатации электротона подстройка его каждый раз должна начинаться с самого верхнего звука октавы «си» и кончаться звуком «до» этой же октавы. Генератор вибрато при подстройке электротона должен оставаться выключенным.

Наладив работу генератора тона, переходят к проверке делителей частоты. Если монтаж делителей был произведен правильно, то они, как правило, начинают работать сразу же, не требуя дополнительных регулировок. Для контроля их работы касаются «пробником» по очереди положительных выводов диодов $Д_2$—$Д_5$ (при этом должна нажиматься одна и та же клавиша). Исправность каждого делителя характеризуется понижением выходного тона ровно на одну октаву по сравнению с предыдущим делителем, что легко определяется на слух.

Напряжение на катодах ламп нормально работающих делителей частоты может меняться в пределах от +22 до +24 *в*, не нарушая режима деления. Однако из-за разброса параметров ламп или значительного отклонения величин сопротивлений и конденсаторов от указанных в схеме номиналов делители могут работать только при определенных значениях напряжения на катодах ламп.

В таких случаях сопротивление R_{76} можно временно заменить переменным сопротивлением в 2,2 *ком* и точно подобрать его величину в работе.

Закончив проверку работы делителей частоты, необходимо убедиться в равномерности уровня громкости на выходе предварительного усилителя. Неравномерность громкости проявляется при переходе с одного делителя частоты на другой, например при попеременном нажатии клавишей «си» и «до». Контроль ведется на телефонные трубки, присоединенные без «пробника» к обмотке *I* трансформатора $Тр_1$ (формантные переключатели должны быть выключены, как это показано на принципиальной схеме). Уравнивание громкости различных октав производится подбором сопротивлений от R_{81} до R_{85}. Для увеличения громкости той или иной октавы соответствующее этой октаве уравнительное сопротивление должно уменьшаться.

Предел минимальной громкости инструмента определяется личным вкусом исполнителя и может быть изменен путем подбора величины сопротивления R_{89} при положении педали на минимуме громкости. Для полного запирания ламп манипулятора отрицательное напряжение на их управляющих сетках (относительно катодов) должно быть около 45 *в*. Максимум громкости ограничивается величиной сопротивления R_{91} при соответствующем положении педали. Превышение предела максимальной громкости определяется по появлению сильных искажений в громкоговорителе, когда звуки перестают быть приятными. Установку пределов громкости нужно производить в середине

диапазона инструмента (при нажатой клавише «фа» в левой октаве верхнего регистра).

Постоянная времени сеточной цепи манипулятора подобрана так, что исключается появление щелчков в громкоговорителе. При увеличении емкости конденсатора C_{41} атака становится более мягкой, но из-за увеличения задержки в появлении звука исполнение быстрых музыкальных пьес становится невозможным.

В заключение проверяются генераторы вибрато и тремоло. Включив генератор вибрато, проверяют его работу в двух положениях переключателей $П_2$. Глубину вибрации можно изменять подбором сопротивлений R_{16} и R_{17}. Для более точного подражания мандолине в диапазоне 800—2 000 *гц* нужно тщательно подобрать напряжение на экранирующих сетках ламп манипулятора при положении «тремоло» переключателя $П_4$. Это проще сделать, временно заменив сопротивления R_{105} и R_{106} потенциометром в 680 *ком.* Передвигая ползунок потенциометра в сторону, соответствующую увеличению экранного напряжения, находят наиболее удачное положение, а затем, выключив питание, определяют омметром сопротивление плеч потенциометра и заменяют их постоянными сопротивлениями. Частота колебаний генератора тремоло по желанию может быть увеличена или уменьшена изменением величины сопротивления R_{109}.

Проверка и налаживание оконечного усилителя для радиолюбителя обычно трудностей не представляют и здесь не описываются.

Эксплуатация. В табл. 2 приведены возможные тембры электротона при определенных положениях его органов управления.

Таблица 2

Тембр	Регистр	Октава	Сурдина	Вибрато	Тремоло	Форманты
Труба	Нижний	Нижняя	Включена	Выключено	Выключено	А
Фагот	То же	Средняя и верхняя	Выключена	„М“	То же	В
Гобой	Верхний	Нижняя и средняя	То же	„М“	„ „	Б
Саксофон	То же	То же	Включена	„Б“	„ „	ВГ
Мандолина	„ „	Средняя и верхняя	То же	Выключено	Включено	Д
Банджо	Нижний	То же	„ „	То же	То же	—

При пользовании генератором тремоло генератор вибрато должен выключаться.

Качество исполнения на электротоне во многом зависит от умения пользоваться регулятором громкости. Окончания звуков большой длительности и музыкальных фраз во многих случаях бывает полезно заглушать («сводить на нет») при помощи педального регулятора громкости.

У описываемого инструмента имеется следующий недостаток, обусловленный его принципиальной схемой: при переходе из одной октавы в соседнюю, более низкую, в момент, когда палец с клавиши одной октавы еще не снят, а клавиша соседней октавы уже нажата, в громкоговорителе появляется кратковременный диссонирующий звук.

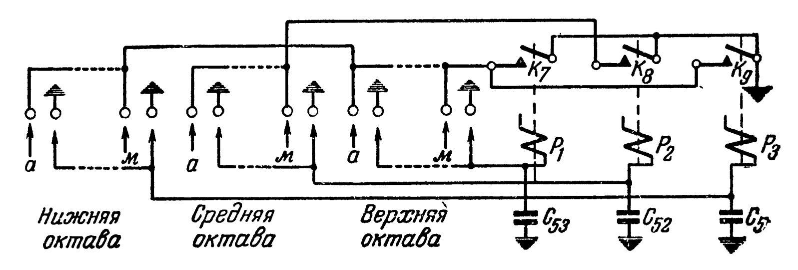


Рис. 39. Схема коммутации, обеспечивающая „легато" при всех переходах.

Чтобы избежать этой помехи, рекомендуется при таких переходах не производить одновременного нажатия двух клавишей. При переходе в соседнюю более высокую октаву и всех других переходах на смежные клавиши такого явления нет и указанное ограничение снимается.

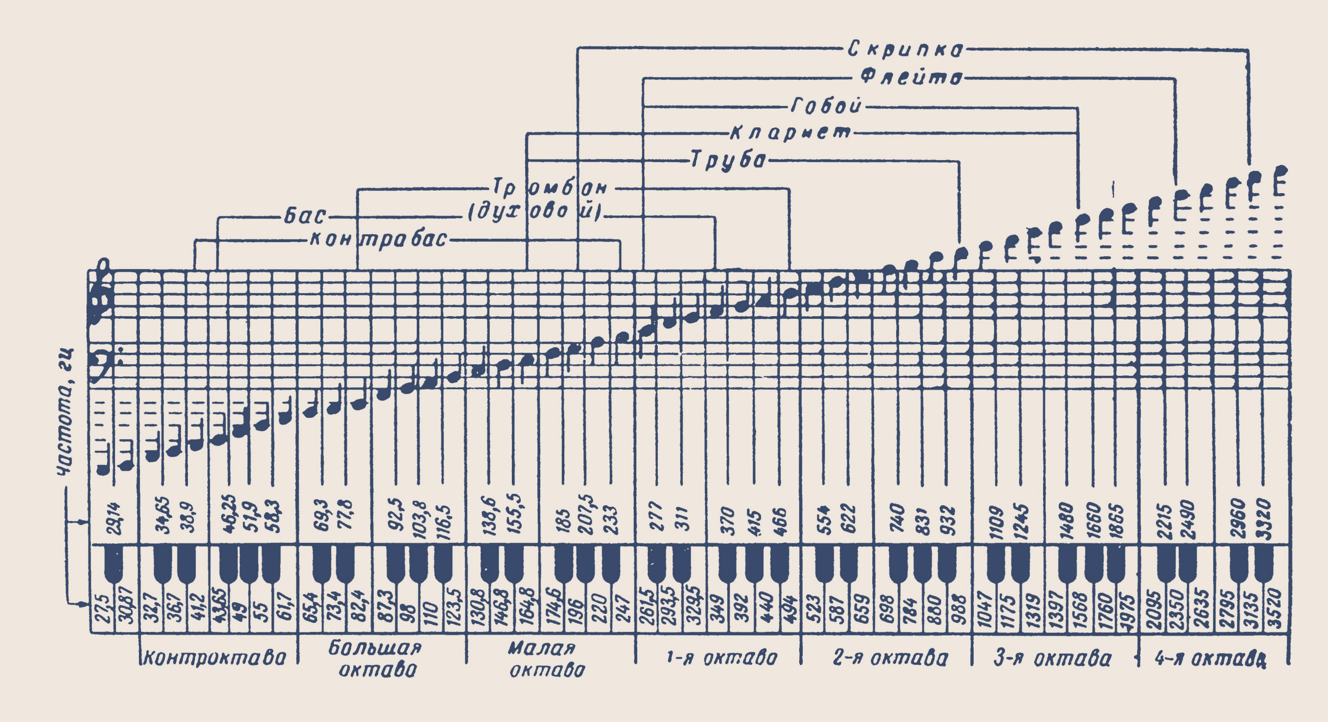
Пользуясь музыкальной терминологией, упомянутый недостаток можно определить как «отсутствие легато при переходах на смежную более низкую октаву». Статистика показывает, что такие переходы в музыке бывают сравнительно не частыми, а практика многолетнего использования «Электротона-2» подтверждает, что этот недостаток, действительно, фактически можно признать неощутимым. Тем не менее, если возникнет желание его избежать, это можно сделать, применив в инструменте реле с тремя группами контактов и более сложную контактную систему в клавиатуре.

Для такого случая на рис. 39 приводится схема монтажа дополнительных контактов K_7, K_8 и K_9, установленных на реле. При нажатии клавишей контактные пружины,

находящиеся под ними и имеющие в соответствии со схемой на рис. 37 такие же буквенные обозначения, соединяются с общим минусом не непосредственно, как это было ранее, а через дополнительные контакты реле (для упрощения схемы контактные пружины, находящиеся под клавишами, показаны не полностью). При такой системе коммутации две пружины, расположенные под клавишей, должны замыкаться не с общей заземленной пластиной, а с двумя, более узкими и изолированными друг от друга пластинами. Варианту клавишных контактов по рис. 28 должно соответствовать наличие у каждой клавиши двух угольников *3* и четырех проволочных контактов *2*. При нажатии на клавишу каждый из угольников должен замкнуть свою пару контактов.

Такое усложнение инструмента, однако, не обязательно, и здесь о нем говорится лишь как о принципиальной возможности устранения отмеченного недостатка, что может быть полезным для некоторых из радиолюбителей-музыкантов.

ЧАСТОТНЫЕ ДИАПАЗОНЫ МУЗЫКАЛЬНЫХ ИНСТРУМЕНТОВ



Цена 1 р. 50 к.